

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

Анпилогова Дарья Дмитриевна

**Экосистемная функция опыления в агроландшафтах Тульской
области**

1.6.21. Геоэкология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
кандидат географических наук,
доцент Пакина Алла Анатольевна

Москва – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ЭКОСИСТЕМНАЯ ФУНКЦИЯ ОПЫЛЕНИЯ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В АГРОЛАНДШАФТАХ.....	11
1.1. Экосистемные функции и услуги: понятия и дефиниции	11
1.2. Экосистемная функция опыления и ее значение для сельского хозяйства	15
1.3. Кризис опыления в контексте геоэкологических проблем	19
1.4. Дикие пчёлы как эффективные опылители сельскохозяйственных культур	24
ГЛАВА 2. УПРАВЛЕНИЕ ЭКОСИСТЕМНОЙ УСЛУГОЙ ОПЫЛЕНИЯ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ	34
2.1. Оценка состояния экосистемной функции опыления	36
2.2. Уровни управления экосистемной услугой опыления	46
2.2.1. Возможности регулирования на уровне отдельных хозяйств	48
2.2.2. Возможности регулирования на муниципальном уровне.....	55
2.3. Проблема забрасывания сельхозугодий в контексте управления экосистемной услугой опыления.....	59
ГЛАВА 3. ВЕНЁВСКИЙ РАЙОН ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ: ХАРАКТЕРИСТИКА	65
3.1. Физико-географические условия	65
3.2. Социально-экономическое положение.....	71
3.3. Сельскохозяйственное использование земель.....	72
3.4. Состояние пчеловодства	79
ГЛАВА 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	84
4.1. Методологическая основа	84
4.2. Таблица земельного покрова: выделение классов и их параметризация	86
4.3. Таблица гильдий: выделение групп и их параметризация.....	90
4.3.1. Параметры и индикаторы таблицы гильдий	90
4.3.2. Дикие пчёлы Венёвского района: фаунистический анализ для таблицы гильдий .	93
4.3.3. Классификация опылителей в соответствии с критериями среды InVEST	103

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНОЙ УСЛУГИ ОПЫЛЕНИЯ НА КРУПНОМАСШТАБНОМ УРОВНЕ	107
5.1. Входные данные	107
5.2. Результаты оценки.....	125
5.3. Использование результатов оценки в управлении землепользованием на внутрихозяйственном уровне.....	129
ГЛАВА 6. ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНОЙ УСЛУГИ ОПЫЛЕНИЯ НА МУНИЦИПАЛЬНОМ УРОВНЕ	134
6.1. Входные данные	135
6.2. Результаты оценки.....	139
6.3. Использование результатов оценки для управления землепользованием на муниципальном уровне.....	144
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	152
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	155
ПРИЛОЖЕНИЕ I. КАРТА-СХЕМА ВЕНЁВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА.....	180
ПРИЛОЖЕНИЕ II. АПИДОФАУНА ВЕНЁВСКОГО РАЙОНА ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ...	181
ПРИЛОЖЕНИЕ III. ВЫБОРОЧНЫЕ ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ ОПИСАНИЯ ЗАЛЕЖНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ.....	191

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Опыление растений насекомыми – это фундаментальный экологический процесс, от которого критически зависит как воспроизводство популяций растений в природных экосистемах, так и продуктивность аграрного сектора (Экосистемные услуги России, 2016. Т.1). По современным оценкам, до 75% ведущих мировых сельскохозяйственных культур, обеспечивающих 35% мирового производства продовольствия, в той или иной степени зависят от опыления животными, преимущественно насекомыми (Klein et al., 2007; FAO, 2019). Отсутствие эффективного опыления ставит под угрозу стабильность урожаев овощных, плодово-ягодных, масличных и зернобобовых культур, составляющих основу рациона человека, а также снижает качество семян кормовых культур, что негативно сказывается на продуктивности животноводства (IPBES, 2016). В связи с этим исследование опыления энтомофильных культур приобретает стратегическое значение в контексте реализации глобальных приоритетов ООН – обеспечение продовольственной безопасности (ЦУР 2) и защита экосистем суши (ЦУР 15).

Наиболее эффективными опылителями среди насекомых признаны пчёлы (Hymenoptera, Apoidea), что обусловлено комплексом их морфофизиологических и экологических адаптаций (Фегри, Пэйл, 1982; Willmer et al., 2017). Ключевым агентом опыления сельскохозяйственных культур выступает медоносная пчела (*Apis mellifera*), однако исключительная опора на этот вид не может обеспечить полноценного опыления энтомофильных культур из-за дефицита пчелиных семей и низкой эффективности на отдельных видах растений (Ченикалова, 2005). Исследования показывают, что существенный вклад в опыление вносят различные виды диких пчёл, которые действуют как самостоятельно, так и в синергии с медоносными (Garibaldi et al., 2013). Экономическая значимость диких опылителей высока: на долю культур, зависящих от их деятельности, приходится 9,5% стоимости мирового сельскохозяйственного производства (Gallai et al., 2009).

Степень разработанности темы исследования. Изучение биоэкологических основ опыления культурных растений насекомыми как ключевого элемента агротехники началось в середине XX века (Губин, 1947; Глушков, 1957; Панфилов, 1968; Лебедев, Бурмистров, 1975; Free, 1993 и др.). Основное внимание уделялось медоносной пчеле, однако роль диких опылителей, в частности шмелей (род *Bombus*) и люцерновой пчелы-листореза (*Megachile rotundata*), также была предметом исследований (Малышев, 1963; Гребенников, 1980; Песенко, 1982).

С середины 1990-х гг. исследования опыления хозяйственно значимых культур получили новый импульс в рамках концепции экосистемных услуг (ЭУ), что было обусловлено обострением продовольственной проблемы и глобальным расширением посевных площадей энтомофильных культур (Bartholomée, Lavorel, 2019). В основополагающих работах по ЭУ (Daily et al., 1997; Costanza et al., 1997) и международных проектах (MEA, TEEB, CICES) опыление выделено в качестве одной из важнейших регулирующих услуг. Основной массив исследований начал формироваться в 2000-х гг., что связано с признанием научным сообществом глобального кризиса опыления, вызванного сокращением популяций диких опылителей (Potts et al., 2010; IPBES, 2016). Один из ключевых факторов развития кризиса – изменения в структуре земельного покрова: расширение площадей под монокультурами, упрощение пространственной структуры агроландшафтов и фрагментация естественных местообитаний. Все это приводит к деградации кормовой базы, сокращению мест, пригодных для гнездования пчел, и, как следствие, к ухудшению состояния экосистемной функции опыления.

В ответ на эти вызовы были разработаны концептуальные модели оценки обеспеченности агроландшафтов ЭУ опыления (Lonsdorf et al., 2009; Polce et al., 2013), апробированные на территориях разного пространственного масштаба. Основная часть методик направлена на моделирование пространственного распределения диких пчел и учитывает их биоэкологические особенности.

Цель и задачи работы. *Цель исследования* – выявить зависимость экосистемной функции опыления энтомофильных сельскохозяйственных культур от структуры использования земель.

Для достижения цели выделены следующие *задачи*:

1. На примере модельной территории (в границах Венёвского района Тульской обл.) идентифицировать ценность различных категорий земельного покрова в качестве местообитаний насекомых-опылителей.
2. Определить факторы, на локальном уровне влияющие на обеспеченность сельскохозяйственных угодий с энтомофильными культурами экосистемной услугой опыления.
3. Принимая во внимание локальный характер формирования экосистемной услуги опыления, установить наличие взаимосвязи между потенциалом опыления сельхозугодий и пространственными характеристиками более крупных территориальных единиц (муниципальный район).

Объекты и методы исследования. В качестве *объекта* исследования выступают сельскохозяйственные угодья Венёвского района Тульской области. Выбор района обусловлен его аграрной специализацией и значительной, имеющей тенденцию к росту, долей энтомофильных культур в структуре посевов. Для крупномасштабного анализа выбрана территория в границах района площадью 42 км².

Методологической основой работы послужила методика пространственного моделирования обеспеченности территорий опылением, разработанная Lonsdorf et al. (2009) и реализованная в программном модуле InVEST Crop Pollination (версия InVEST 3.13.0). Для картографирования и анализа геоданных использовался программный комплекс QGIS 3.28.4.

Подготовка входных данных для программы InVEST (карты и таблицы земельного покрова, таблица гильдий) осуществлялась с применением комплекса методов. Выделение релевантных классов земельного покрова проводилось по результатам авторских полевых рекогносцировочных исследований Венёвского района. Параметризация модели осуществлена на материалах авторских

геоботанических исследований (2021–2023 гг.), выполненных по стандартным методикам. Формирование таблицы гильдий пчёл реализовано на основе анализа литературных источников с привлечением энтомологических учётов. Карта земельного покрова основана на полуавтоматической классификации космического снимка (модуль Orfeo Toolbox 8.1.1 в QGIS) с постобработкой. Анализ латеральной структуры территории выполнен с использованием модуля Landscape Ecology Statistics для QGIS, реализующего алгоритмы расчёта ландшафтных метрик FRAGSTATS. Кластеризация пространственных данных распределения индекса обилия опылителей проводилась средствами модуля Orfeo Toolbox в QGIS (алгоритм k-средних).

Научная новизна. Впервые в российской практике проведена комплексная оценка состояния экосистемной функции опыления на разных пространственных уровнях при различных сценариях использования земель. Для анализа по методике Лонсдорфа разработан формализованный подход к выделению экологических групп пчёл, идентификации значимых для опыления классов земельного покрова и количественной оценке их параметров на основе результатов полевых исследований с привлечением актуальных литературных данных. Обосновано применение кластерного анализа для выявления статистически значимых пространственных неоднородностей в обеспеченности сельхозугодий опылением на уровне муниципального района.

Защищаемые положения:

1. Ключевыми источниками экосистемной услуги опыления для сельскохозяйственных угодий служат травянистые экосистемы, представленные в границах модельной территории преимущественно залежами на луговой стадии постагрогенной сукцессии. Сельскохозяйственные угодья, обладая сравнительно низкой ценностью в качестве местообитаний диких пчел-опылителей, выступают реципиентами экосистемной услуги опыления от сопредельных природных экосистем.

2. Обеспеченность сельскохозяйственных угодий экосистемной услугой опыления определяется долей природных территорий в структуре земельного

покрова на локальном уровне и морфометрическими параметрами полей (размер, конфигурация), влияющими на доступность всей их площади для опылителей. Вовлечение в оборот необрабатываемых земель, сопровождаемое снижением доли участков-источников опыления, приводит к значительному снижению потенциала опыления полей. Интеграция в массивы обрабатываемых земель энтомологических микрозаказников является эффективным инструментом улучшения состояния экосистемной функции опыления сельскохозяйственных угодий в агроландшафте.

3. Установлена взаимосвязь между опылением как экосистемной услугой, реализуемой в локальном масштабе, и латеральной организацией территориальных единиц более высокого пространственного уровня (муниципальный район): территориям с более высоким потенциалом опыления полей соответствуют меньшая степень вовлечения земель в сельскохозяйственное производство и высокая фрагментация пахотных угодий.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии научных представлений о закономерностях формирования и пространственной дифференциации ЭУ опыления в агроландшафтах средней полосы России. Обоснована и верифицирована применимость процессно-ориентированной модели Лонсдорфа для оценки потенциала опыления на разных пространственных уровнях. Вклад в развитие теоретических основ экосистемного учета состоит в установлении взаимосвязи между структурой землепользования на муниципальном уровне и ЭУ опыления. Разделение диких пчёл-опылителей на гильдии с детальной характеристикой их экологических параметров создаёт теоретическую базу для последующих исследований апидофауны в контексте предоставления экосистемных услуг.

Практическая значимость исследования обусловлена возможностью применения его результатов и разработанного методического подхода в системе управления сельскохозяйственным землепользованием и территориальным планированием. На уровне хозяйств предложенный инструментарий позволяет оптимизировать размещение севооборотов с энтомофильными культурами, научно обосновывать создание элементов экологического каркаса и выбирать участки для

создания энтомологических микрозаказников с целью повышения урожайности. На муниципальном уровне результаты кластерного анализа и карты индекса обилия опылителей служат основой для дифференциации агроэкологической политики, выделения зон, приоритетных для развития энтомофильного растениеводства, и территорий, требующих проведения компенсационных мероприятий для поддержания опыления. Разработанный подход может использоваться при оценке экологических последствий решений о вовлечении залежей в оборот или изменении границ сельскохозяйственных земель.

Личный вклад автора. Для повышения точности моделирования потенциала опыления автором предложен методологический подход к параметризации входных данных модели InVEST Crop Pollination с использованием естественнонаучных индикаторов. В 2021–2024 гг. проведены маршрутные (7 выездов в разные месяцы вегетационного периода), геоботанические (58 описаний) и энтомологические исследования на территории Венёвского района, результаты которых применены для выделения и параметризации классов земельного покрова и гильдий опылителей. По результатам моделирования подготовлены тематические карты распределения потенциала опыления. Выполненный кластерный анализ позволил выделить в пределах муниципального района два кластера, однородных по обеспеченности полей опылением.

Степень достоверности. Достоверность сформулированных выводов подтверждается использованием репрезентативного фактического материала и согласованностью полученных данных с выводами других авторов. Обработка входных данных выполнялась на основе апробированной методики пространственного моделирования Лонсдорфа, признанной в международной практике. Основные результаты опубликованы в рецензируемых изданиях и прошли обсуждение в докладах на международных и российских научных конференциях.

Апробация. Результаты работы представлены на конференциях: Scientific conference of PhD students of FAFR, FBFS and FHLE SUA with international participation (Нитра, Словакия, 2020); Всероссийская школа-семинар

«Экологическая безопасность в условиях антропогенной трансформации природной среды», посвящённая памяти Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка (Пермь, 2021, 2022, 2023, 2024); Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Современная географическая картина мира и технологии географического образования: Трёшниковские чтения-2023» (Ульяновск, 2023).

Публикации. Материалы исследования изложены в 11 печатных работах, в том числе в 3 статьях в научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук. Методика крупномасштабной оценки ЭУ опыления с использованием модели Лонсдорфа апробирована в статьях (Анпилогова, 2024) и (Анпилогова, 2025). Оценка распределения ЭУ опыления в границах Венёвского района приводится в статьях (Анпилогова, 2024-2) и (Анпилогова, Пакина, 2025), вклад автора – 70%. Комплексная оценка регулирующих ЭУ залежных земель представлена в статье (Anpilogova, Pakina, 2022), вклад автора –70%.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и 3 приложений. Работа изложена на 200 страницах, включает 27 таблиц и 62 рисунка. Библиографический список содержит 308 литературных источников, из них 148 на иностранном языке.

ГЛАВА 1. ЭКОСИСТЕМНАЯ ФУНКЦИЯ ОПЫЛЕНИЯ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В АГРОЛАНДШАФТАХ

1.1. Экосистемные функции и услуги: понятия и дефиниции

Во второй половине XX века устойчивый рост численности населения и высокие темпы развития мировой экономики привели к значительному увеличению спроса на природные ресурсы и усилению антропогенной нагрузки на природные комплексы. В этой связи перед научным сообществом встала проблема деградации экосистем, утрачивающих способность выполнять свои исходные функции. В 1970-х годах в научной литературе начали активно обсуждаться утилитарные, значимые для человека, функции экосистем, которые впоследствии получили название «экосистемные услуги».

Появление термина относят к 1981 г., когда американский биолог П. Эрлих опубликовал книгу «Вымирание: причины и последствия исчезновения видов». В этой работе он впервые употребил понятие «услуги» (services) применительно к благам, получаемым человеком от экосистем, хотя на том этапе оно использовалось скорее как метафора, нежели как строгий научный термин. Эрлих утверждал, что сохранение биологических видов необходимо из-за «жизненно важных бесплатных услуг» экосистем (Ehrlich, Ehrlich, 1981). Хотя формального определения в его работах не приводилось, перечисленные в работе услуги включали не только материальные блага (топливная древесина, строительные материалы и др.), но и функции экосистем: предотвращение наводнений, эрозии, фильтрацию воды (Ehrlich, Mooney, 1983).

В конце 1990-х годов концепция экосистемных услуг оформилась в одно из наиболее интенсивно развивающихся направлений экологической экономики, что было обусловлено осознанием масштаба экономических потерь вследствие деградации экосистем. Из педагогической идеи, призванной подчеркнуть ценность природы, концепция превратилась в инструмент формирования комплексной экономической оценки, учитывающей как материальные, так и нематериальные выгоды от экосистем. Экологические экономисты начали включать экосистемные

услуги в свои исследования, предлагая первые стоимостные оценки природных благ, обеспечивающих существование человечества (Daily et al., 1997; Costanza et al., 1997). Экосистемные услуги стали рассматриваться не только через их экологическую роль, но и через экономическую значимость, понимаемую как совокупность прямых и косвенных выгод.

С начала XXI в. концепция экосистемных услуг получила широкое развитие как в научных исследованиях, так и в программных документах ведущих международных организаций. В практике управления природопользованием всё чаще применяются экономические механизмы, включая схемы компенсационных платежей, позволяющие учитывать стоимость экосистемных услуг при принятии решений. Научная база по данной проблематике продолжает расширяться, охватывая новые аспекты оценки и учета.

Парадигма экосистемных услуг обладает значительным потенциалом для выявления и оценки всей совокупности выгод, получаемых обществом от природных систем. Несмотря на отсутствие унифицированной классификации для последовательной количественной оценки, все существующие системы (Millennium Ecosystem Assessment (MEA), TEEB, CICES, IPBES и др.) объединены стремлением выделить экономический, экологический и социальный компоненты экосистемных услуг. В современной научной литературе наиболее распространена терминология классификации CICES (Common International Classification of Ecosystem Services v5.1), где основные категории услуг определяются как обеспечивающие, регулирующие и культурные (Haines-Young, Potschin, 2018).

Классификация CICES базируется на каскадной модели (рис. 1.1) – концептуальной схеме формирования и идентификации экосистемных услуг, иллюстрирующей прямую зависимость получаемых людьми выгод от биотических процессов.

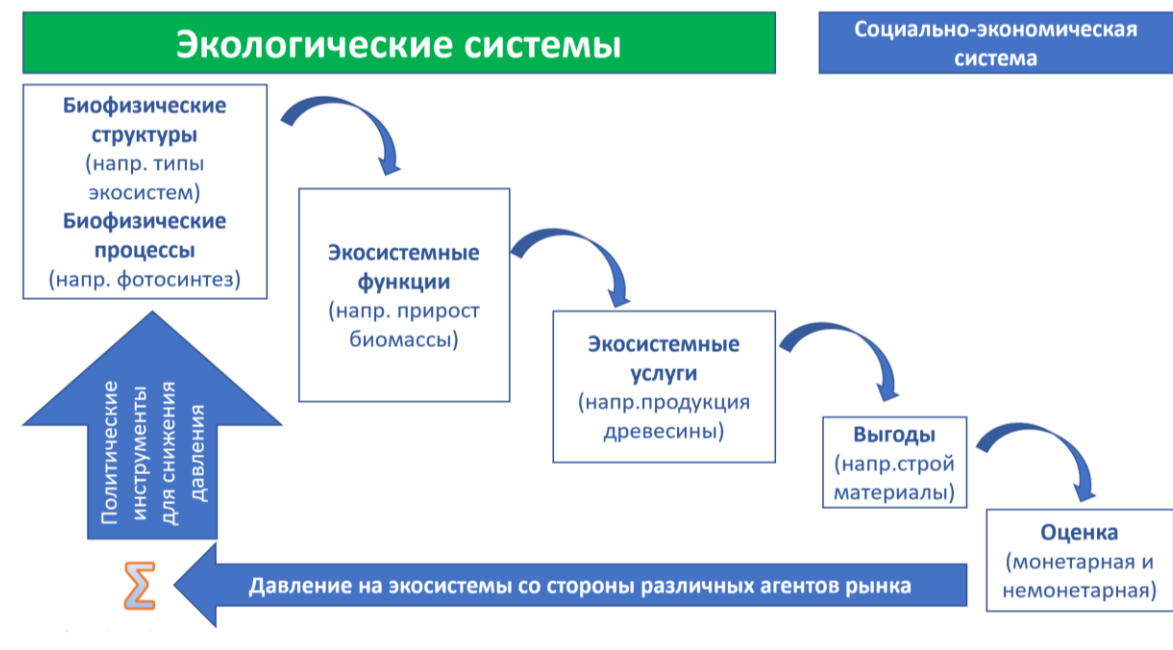


Рисунок 1.1 – Каскадная модель формирования экосистемных услуг (приводится по Haines-Young, Potschin, 2018)

Последовательность этапов формирования экосистемных услуг, описанная каскадной моделью:

- **Биофизические структуры и процессы** – экологические процессы, характер которых, как правило, обусловлен типом экосистемы.
- **Экосистемные функции** – свойства и процессы в экосистемах, которые лежат в основе и делают возможным предоставление экосистемных услуг.
- **Экосистемные услуги** – прямой и косвенный вклад естественных и преобразованных экосистем в благосостояние человека.
- **Потребительские выгоды** – ценности, получаемые человеком в процессе прямого использования экосистемных услуг.
- **Оценка стоимости** – количественная или денежная оценка потребляемого объема экосистемных услуг.

Таким образом, в рамках данной концепции экосистемные услуги и функции рассматриваются как самостоятельные категории, хотя их терминологическое разграничение остается дискуссионным, особенно для нематериальных благ. Экосистемные функции в классификации CICES в значительной степени соответствуют **поддерживающим услугам** (*supporting*

services) – дополнительной категории, выделенной в классификации «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (МЕА). В рамках классификации МЕА данные услуги определяются как функции, необходимые для производства всех остальных экосистемных услуг, но не используемые обществом напрямую (МЕА, 2005). Кроме того, в МЕА отмечено, что влияние поддерживающих услуг на человеческое благосостояние является долгосрочным, в то время как изменения в других категориях услуг оказывают на людей сравнительно краткосрочное воздействие. В этом же документе отражена близость регулирующих и поддерживающих услуг в аспекте подхода к оценке их состояния и возможность отнесения некоторых услуг к каждой из этих двух категорий в зависимости от финального результата (напр., регулирование эрозии, опыление; также Mace, Bateman, 2011).

В связи со сложностью разграничения категорий экосистемных функций и услуг в рамках одной концептуальной модели отдельные авторы указывают на синонимичность данных понятий и избыточность их одновременного использования. Как следствие, отмечается отсутствие необходимости в выделении категории «экосистемные функции» при условии, что предшествующая им в каскадной модели категория биофизических процессов является достаточно четко определенной (Wallace, 2007; Jax, 2016). В ряде работ термин «экосистемные (ландшафтные) функции» (*ecosystem/landscape functions*) используется в значении, соответствующем понятию регулирующих экосистемных услуг (напр., Stachow et al., 2003).

Перед отечественной наукой проблема оценки и сохранения природных благ встала в конце 1970-х годов. В научной литературе того периода начали разрабатываться вопросы экономической оценки средообразующих и охранных функций природных систем. Так, в 1978 г. И. В. Туркевичем был предложен методический подход к оценке водорегулирующей роли лесов (Туркевич, 1978), который в дальнейшем развивался в работах, посвящённых расчету общественных потерь в случае утраты лесами способности сдерживать эрозионные процессы и очищать поверхностный сток (напр., Воронков, 1988). Применительно к ООПТ проблемы измерения экономической ценности как материальных, так и

нематериальных благ, получаемых обществом от экосистем, изучались Н. Ф. Реймерсом, Ф. Р. Штильмарком, О. Ф. Балацким, Ю. В. Панасовским и др.

Термин «экосистемные услуги» вошел в понятийный аппарат отечественной науки после выхода в 2005 г. фундаментального исследования «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (МЕА, 2005). Ранее в исследованиях речь шла о «функциях экосистем» и соотнесении их с общественным благосостоянием (Реймерс, 1990). В настоящее время анализ эколого-экономических аспектов природопользования опирается преимущественно на концепцию экосистемных услуг. Однако и сейчас в отечественной научной литературе сосуществуют термины экосистемных (ландшафтных) функций и услуг в контексте оценки преимуществ, получаемых обществом от регулирования экосистемных процессов (категория регулирующих и поддерживающих услуг): они являются семантически близкими и в определенной степени взаимозаменяемыми (например, Лебедев, 2011; Касимов, Касимов, 2015; Vanteeva, Solodyankina, 2015; Дьяконов, Харитонов, 2017; Харитонов и др., 2018). Речь об оценке состояния экосистемных функций чаще всего идет в тех случаях, когда не предполагается проведение монетарной оценки (Тишков, 2005), тогда как результаты оценки экосистемных услуг, напротив, чаще выражаются в денежных единицах и могут быть интегрированы в систему показателей для расчета экономической эффективности.

1.2. Экосистемная функция опыления и ее значение для сельского хозяйства

Антропогенная трансформация земельного покрова существенно влияет на потенциал ландшафтов в предоставлении экосистемных услуг (Grunewald et al., 2014). Особенно значительное воздействие на все категории экосистемных услуг оказывает сельскохозяйственное освоение территорий, связанное с замещением обширных природных площадей пахотными землями и пастбищами (Stachow et al., 2003). Доля сельхозугодий (пашни, пастбищ и многолетних насаждений) составляет почти 40% поверхности суши (Ellis, Ramankutty, 2008). Если речь идет

о сельскохозяйственном освоении территорий, можно говорить о превращении природных ландшафтов в агроландшафты.

Агроландшафт представляет собой природно-антропогенный ландшафт, основная функция которого заключается в производстве растениеводческой продукции, а в структуре угодий по площади доминируют обрабатываемые земли (Николаев и др., 2008). Фундаментальным свойством агроландшафта выступает его пространственная неоднородность (Николаев, 1987). Сохранившиеся фрагменты исходных природных экосистем (напр. лесные массивы), а также специально созданные для поддержки растениеводства пространственные элементы (напр. защитные лесополосы) выполняют роль экологических ниш, коридоров и буферных зон, защищающих экологические ценности агроландшафта, в частности местообитания полезных для земледелия биологических видов (Колбовский, 2008; Хорошев и др., 2019). Пространственная дифференциация природных ландшафтных единиц различных рангов определяется преимущественно особенностями морфолитогенной основы и гидроклиматическими факторами, что создает возможность применения таксономической номенклатуры ландшафтной географии для анализа агрогеосистем (агроурочища, агроместности и пр.) (Николаев и др., 2008). Хотя при возникновении агроландшафта границы природного ландшафта, как правило, сохраняются, они могут быть преобразованы новыми элементами антропогенного происхождения (напр., дорогами), меняющими потоки вещества и энергии (Казаков, 2004; Трапезникова, 2017). Создание агроландшафтов сопровождается сведением естественной растительности, распашкой земель и проведением мелиоративных мероприятий, что приводит к трансформации практически всех компонентов природной среды. К числу вероятных последствий преобразования природных ландшафтов относятся снижение биоразнообразия, интенсификация водной и ветровой эрозии, эмиссия углерода в атмосферу, деградация почв и ухудшение качества водных ресурсов (Rey Benayas et al., 2007).

Агроландшафты создаются с целью производства растениеводческой продукции, то есть для получения обеспечивающих экосистемных услуг. При этом

их функционирование во многом зависит от регулирующих услуг, которые можно выделить в особую группу – экосистемных услуг, оказывающие поддержку земледелию (Daw et al, 2016). В данную группу входят регулирующие услуги, способствующие сохранению экологической устойчивости агроландшафтов и увеличению урожайности сельскохозяйственных культур: защита почв от эрозии, регулирование водного режима и биологический контроль вредителей. Особое значение среди регулирующих экосистемных услуг для земледелия имеет опыление энтомофильных однолетних и многолетних сельхозкультур.

Опыление покрытосеменных растений представляет собой процесс переноса пыльцевых зерен с пыльников на рыльце пестика, предшествующий оплодотворению. По критерию происхождения пыльцы выделяют различные типы опыления, наиболее распространенным из которых у покрытосеменных является перекрестное – перенос пыльцы между цветками разных особей одного вида (Демьянова, 2010). В зависимости от агента переноса различают способы опыления, подразделяемые на абиотические и биотические (Фегри, Пэйл, 1982). Для многих видов покрытосеменных, включая культурные растения, характерно сочетание различных типов и способов опыления (Экосистемные услуги России..., Т. 2, 2020).

До 80% видов цветковых растений на планете являются зоофильными: агентами опыления для них выступают различные животные (Ackerman, 2000). Цветки покрытосеменных растений посещают с целью получения нектара или пыльцы около 300 тыс. видов животных, принадлежащих к разным таксономическим группам (Kearns, 1998). Установлено, что около 73% возделываемых в мире перекрестноопыляемых сельхозкультур опыляются пчелами (надсемейство Apoidea, секция Anthophila), 19% – двукрылыми (мухи-сирфиды и др.), 6.5% – летучими мышами, 5% – осами, 5% – жуками, 4% – птицами и 4% – бабочками (Крыленко, Ясюкевич, 2021). Таким образом, преобладающим и наиболее значимым биотическим способом опыления выступает энтомофилия – опыление насекомыми. Данный способ биотического опыления является

единственным, представленным на территории России (Экосистемные услуги России..., Т. 2, 2020).

Важность перекрестного опыления насекомыми для поддержания устойчивости сельскохозяйственного производства была признана еще в основополагающих работах по проблематике экосистемных услуг (Daily et al., 1997; Costanza et al., 1997). В предисловии к монографии Daily et al. (1997) подчеркивается, что помимо животных и растений, непосредственно используемых человеком для производства продуктов питания, строительных материалов и лекарственных средств, существует множество биологических видов, не потребляемых напрямую, но поддерживающих жизнь и воспроизводство видов из первой группы или создающих другие жизненно необходимые для человека блага. Перечисление всех этих опосредованно поддерживающих существование общества видов невозможно и затруднило бы анализ проблемы, поэтому гораздо эффективнее выделить группы живых существ, выполняющих одни и те же жизнеобеспечивающие функции. Среди этих функций особое место занимает опыление сельскохозяйственных культур и естественно-произрастающих растений (Daily et al., 1997). В работе Costanza et al. (1997) экосистемная услуга опыления, определяемая как обеспеченность пашни и пастбищ опылителями для воспроизводства энтомофильных растений и производная от экосистемной функции переноса пыльцевых зерен, оценена на мировом уровне в 117×10^9 \$/год.

Перекрестное опыление животными-опылителями, среди которых ведущая роль принадлежит насекомым-антофилам, – один из ключевых факторов глобального производства продовольствия. Во всем мире около 70% видов культурных растений, на долю которых приходится 35% объема производства, в той или иной степени зависят от опыления насекомыми, при этом зависимость от опыления от 5 до 8% можно назвать критической (Klein et al., 2007; Aizen et al., 2008; IPBES, 2016). Опыление служит обязательным элементом агротехники многих продовольственных культур, включая плодовые деревья (яблоня, груша, слива, цитрусовые), ягодные кустарники (смородина, малина, голубика), орехи (миндаль) и овощные культуры (огурцы, томаты, тыквы) (Baylis et al., 2020).

Урожайность и качество семян многих масличных и технических культур (напр., горчица, лен, рапс, подсолнечник, сахарная свекла) также чувствительны к опылению насекомыми (Радченко, Песенко, 1994). Немаловажную роль насекомопопыление играет и при возделывании кормовых культур из семейства бобовых (напр., клевер, люцерна, донник, люпин, лядвенец, фацелия): хотя целью их возделывания является получение зеленой фитомассы, для динамичного развития кормопроизводства ежегодно необходим запас качественных семян, завязываемость которых напрямую зависит эффективности опыления (Мадебейкин, 2004). За последние полвека объем производства энтомофильных культур вырос в четыре раза (IPBES, 2016).

Основной массив исследований опыления как экосистемной услуги в разных регионах мира начал формироваться в 2000-х гг. (Bartholomée and Lavorel, 2019). Высокий научный интерес к проблематике опыления связан с двумя обстоятельствами. С одной стороны, увеличивающаяся потребность человечества в продуктах питания обуславливает рост мирового спроса на культуры, урожайность и качество семян которых зависят от перекрестного опыления (Venturini et al., 2017). С другой стороны, антропогенное сокращение популяций диких опылителей и массовая гибель колоний домашних медоносных пчёл позволили ученым констатировать начало кризиса опыления (Potts et al., 2010; IPBES, 2016).

1.3. Кризис опыления в контексте геоэкологических проблем

Проблема глобального сокращения численности насекомых-опылителей впервые получила официальное международное признание в 1998 г. в связи с принятием в Сан-Паулу Декларации ООН по опылителям (International Pollinators Initiative..., 1999), разработанной во исполнение Решения III/11 Конвенции о биологическом разнообразии (1996). В документе подчеркивалось, что на момент его подготовки научное сообщество уже на протяжении более двух десятилетий фиксировало тревожные тенденции снижения популяций опылителей в различных регионах мира (напр., Janzen, 1974; Torchio, 1987). Позднее, в опубликованном в 2005 г. отчете «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (MEA), регулирующей

экосистемной услуге опыления был присвоен статус «ухудшение состояния». При этом авторы исследования отметили увеличение потребности общества в данной услуге (МЕА, 2005).

Накопленные данные об обилии и видовом разнообразии диких опылителей на разных континентах позволили научному сообществу констатировать **глобальный кризис опыления**, угрожающий как устойчивости природных экосистем, так и продовольственной безопасности планеты (Willmer, 2011). При этом наиболее значительное сокращение численности насекомых-опылителей зафиксировано в умеренной зоне Северного полушария (IPBES, 2016). Показательным примером служит исследование Burkle et al. (2013), которое выявило 50%-ное сокращение видового разнообразия диких пчёл в штате Иллинойс (США) за период с 1888 по 2010 гг., сопровождавшееся нарушением фенологической синхронизации с кормовыми растениями. Аналогичная ситуация наблюдается и в Европе, где, согласно данным IPBES (2016) 9% видов пчёл и бабочек находятся под угрозой исчезновения, с сокращением популяций на 37% и 31% соответственно. В свою очередь, в России исследования, подтверждающие сокращение разнообразия и численности опылителей, носят пока лишь фрагментарный характер (Мадебейкин, 2004; Ясюкевич и др., 2013).

В литературе выделяется комплекс факторов, определяющих развитие кризиса опыления. Прежде всего, ключевой причиной возникновения кризиса опылителей считается антропогенная деградация земельного покрова и сопутствующее ей сокращение площади природных территорий (Крыленко, Ясюкевич, 2021). Как следствие, увеличение пахотных площадей, занятых монокультурами, упрощение пространственной структуры ландшафтов, фрагментация местообитаний, а также снижение биоразнообразия на экосистемном и видовом уровне неизбежно приводят к разрушению кормовой базы и уменьшению количества мест, пригодных для гнездования диких пчёл (Connelly et al., 2015).

Вторым ключевым фактором кризиса опыления являются особенности агротехники, предполагающие использование пестицидов (Woodcock et al., 2017). Серьезную опасность представляют для насекомых инсектициды и акарициды,

применяемые против вредителей сельхозкультур, но оказывающие токсическое действие и на полезную энтомофауну, поскольку непосредственной целью действия этих препаратов являются организмы членистоногих (Соловьева, 2012). Еще более опасны для насекомых-антофилов инсектициды в смеси с гербицидами, поскольку, во-первых, при совместном использовании этих средств возникает синергический эффект, усиливающий негативное действие на насекомых, а во-вторых, гербициды снижают численность цветущих медоносов, сокращая кормовую базу (Калинникова и др., 2021).

Два рассмотренных фактора в совокупности оказывают выраженное негативное влияние на популяции насекомых-опылителей, особенно на диких пчёл как наиболее эффективную группу (Leza, 2018). Помимо этого, в качестве причин глобального кризиса опылителей в литературе выделяются: конкуренция и хищничество со стороны инвазивных видов, болезни, паразитизм и клептопаразитизм, а также абиотические факторы – глобальное потепление (Kerr et al., 2015) и антропогенное загрязнение (Соловьева, 2012).

Состояние популяций насекомых-опылителей вызывает растущую обеспокоенность не только в научном сообществе, но и у международных организаций. Так, в 2000 г. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO) выступила с инициативой по созданию «Глобальной программы действий по опылительным услугам для устойчивого сельского хозяйства» (Global action..., 2000). Основная цель данного проекта состоит в сборе и последующем распространении среди фермеров и сельхозпроизводителей достоверных данных о потребностях сельскохозяйственных культур в опылении, а также об устойчивых агрономических практиках, обеспечивающих эффективное опыление.

Кризис диких опылителей во многом мог бы быть скомпенсирован опылительной деятельностью домашних медоносных пчёл, однако в последние два десятилетия само пчеловодство столкнулось с серьёзными проблемами, по всей вероятности также обусловленными причинами экологического характера. В частности, представители индустрии пчеловодства и научного сообщества

столкнулись с новым явлением, получившим название **коллапс пчелиных семей** (Colony Collapse Disorder), или слёт пчёл. Суть феномена заключается в том, что все рабочие особи без видимых причин навсегда покидают улей, оставляя в нём матку, расплод, небольшое количество пчёл-кормилиц и запасы пищи (Portus, 2020). Впервые массовые случаи коллапса были зафиксированы в 2006 г. в США (Benjamin, McCallum, 2009), а в последующие годы явление распространилось на 26 европейских стран, Израиль, Китай, Египет и Иорданию, что привело к потере от 30 до 90% пчелиных семей (Nikita et al., 2022). Начиная с 2007 г. коллапс отмечается и в России (Садовникова, Ковалевская, 2015). В период 2007–2013 гг. средний уровень потерь составлял около 30%; впоследствии он несколько снизился, однако данный феномен по-прежнему вызывает серьёзную озабоченность (Ferrier, 2018).

В научной литературе выделяется комплекс причин, вызвавших коллапс пчелиных семей. Ключевым фактором признается варроатоз – паразитарное заболевание, вызываемое клещом *Varroa destructor*. Инвазия приводит к белковой недостаточности у пчёл и способствует распространению опасных вирусов (Садовникова, Ковалевская, 2015). Среди дополнительных факторов отмечают применение акарицидов и остатки пестицидов в кормовой базе, вызывающие в сочетании с неполноценным питанием снижение иммунитета пчел. Существенную роль также играет распространение грибковых, бактериальных и вирусных инфекций, воздействие электромагнитных помех от систем связи, нарушающих навигацию насекомых, а также неконтролируемая межпородная гибридизация (Nikita et al., 2022).

По данным ФАО, обострение синдрома коллапса пчелиных семей в глобальном масштабе не привело к сокращению количества семей медоносных пчел, поскольку пчеловоды искусственно поддерживают нужное количество ульев в хозяйстве, восстанавливая утраченные колонии путем отделения в период роения (Aizen, Harder, 2009). Однако подобные явления отражают наличие неопределенности в использовании культурных опылителей в агротехнике энтомофильных растений.

Повышение общественной осведомленности о роли опылителей в обеспечении продовольственной безопасности и рисках, сопряженных с кризисом опыления, стимулировало научный поиск решений по снижению зависимости урожая энтомофильных культур от диких и домашних насекомых-опылителей. Одним из путей решения проблемы сокращения опылителей стала разработка роботов-опылителей, представляющих собой колесные машины или миниатюрные беспилотные летательные аппараты, предназначенные преимущественно для опыления растений закрытого грунта (Cooley, Vallejo-Marín, 2021). Использование таких методов опыления в глобальном масштабе пока технически неосуществимо и экономически нерентабельно, и, кроме того, несет в себе существенные экологические и моральные риски (Potts et al., 2018).

Другим путем снижения рисков, связанных с кризисом опылителей, является использование биотехнологических методов. Так, одним из направлений селекции сортов некоторых культур со смешанным типом опыления (напр., рапс, горчица) стал отбор генотипов с максимальной самофертильностью, что способствует сохранению приемлемой урожайности в условиях недостатка насекомых-опылителей (Пирогова, Горлова, 2021). Также в последние годы активно разрабатываются решения по редактированию геномов растений, позволяющие инактивировать ген, отвечающий за синтез гормона, препятствующего формированию плода без перекрестного опыления (Zhu et al., 2020; Huang et al., 2024).

Однако несмотря на перспективность биотехнологических решений, они имеют ряд существенных ограничений и сопряжены с определенными рисками, поэтому в настоящий момент наиболее доступным и целесообразным путем преодоления кризиса опылителей является разработка и реализация мер по охране диких насекомых и сохранения численности домашних медоносных пчёл (Potts et al., 2018).

1.4. Дикie пчёлы как эффективные опылители сельскохозяйственных культур

Эффективность опыления, от которой зависит стабильно высокая урожайность энтомофильных культур, определяется комплексом агроэкологических факторов в системе «растение–опылитель» (Иванов и др., 2021). Каждая энтомофильная культура целенаправленно или случайно посещается целым комплексом насекомых-антофилов, принадлежащих к разным семействам. Однако вклад разных групп посетителей в опыление энтомофильных растений неравноценен и никак не связан с их относительным обилием в сообществе (Хвир, 2011). Для эффективного переноса пыльцы необходимо, чтобы посещение растения носило регулярный характер, было типичным элементом в поведении насекомого (Фегри, Пэйл, 1982). Кратность посещения каждого цветка определённым видом или группой, называемая насыщенностью опыления, является одним из важнейших показателей эффективности опыления (Иванов, 1999; Ченикалова, 2005). Большая часть насекомых-антофилов являются слабыми опылителями, поскольку пыльцу они используют для немедленного потребления, а не для транспортировки между цветками, и посещают цветки редко (Пономарева, 1973). Эти насекомые (например, полужесткокрылые, жуки-мягкотелки, наездники, муравьи) вследствие редкости посещения цветков фактически изымают пыльцу из системы, а потребляя нектар, снижают привлекательность посещённых цветков для более эффективных опылителей (Хвир, 2011).

Вторым фактором эффективности опыления является пыльцевой груз – количество пыльцевых зерен, переносимое на теле насекомого (Лысенков, 2010). Оно зависит от размеров тела насекомого и особенностей наружных покровов его тела. Помимо объема пыльцевого груза важным показателем эффективности опыления является доля в нем конспецифической пыльцы, что увеличивает вероятность попадания на рыльце пестика растения пыльцевых зерен именно его вида (Хвир, 2011). Однако, когда речь идет об опылении массово цветущих культур, возделываемых на больших площадях (напр., гречиха, рапс), роль этого показателя снижается.

По результатам многочисленных исследований наиболее эффективными опылителями признаются пчёлы (Apoidea, Anthophila) (Фегри, Пэйл, 1982; Ченикалова, 2005; Willmer et al., 2017). Как отмечал Д. В. Панфилов (1968), облик современных ландшафтов суши во многом определяется сложным комплексом планетарного масштаба, который составляют пчёлы с опыляемыми ими цветковыми растениями.

Пчёлы выкармливают своих личинок нектаром и пыльцой, которую доставляют в гнездо с помощью присутствующего у большинства видов (кроме например, одиночных пчёл рода *Hylaeus* из семейства Colletidae) пыльцесобирающего аппарата – специальных органов для сбора пыльцы (щеточки и корзинки на задних ногах у представителей Apidae, брюшные щеточки у Megachilidae) (Гребенников, 1975; Иванов, 1999). Для фуражировки гнезда пчелам необходимо на регулярной основе посещать множество цветков, что положительно влияет на эффективность переноса ими пыльцы между растениями. Немаловажно, что пчёлы благодаря способности к обучению оптимальному поведению при фуражировке пчёлы отличаются высокой скоростью посещения цветов (Радченко, Песенко, 1994).

По второму критерию эффективности опыления – объёму переносимого пыльцевого груза – пчёлы также обладают рядом преимуществ перед другими группами насекомых-антофилов. В частности, специфика опушения пчёл, а именно хорошо развитые густые волоски на теле, значительно увеличивает количество переносимых пыльцевых зёрен по сравнению с другими насекомыми тех же размерных групп (Хвир, 2011). Помимо особенностей опушения, важную роль играют и размеры тела: среди пчёл существует множество видов с крупными размерами (например, представители семейств *Bombus* и *Apidae*), что также положительно влияет на объём одномоментно переносимого пыльцевого груза. Более того, крупные размеры и бóльшая физическая сила позволяют этим насекомым проникать в закрытые цветы с прочно скреплёнными лепестками (чина, люцерна и др.), что недоступно для большинства мелких антофилов (Иванов, 1999).

Существенный вклад пчёл в перекрёстное опыление усиливается благодаря цветковой константности, характерной для некоторых общественных видов. Данное явление заключается в том, что рабочие особи полилектичных видов в течение одного или нескольких фуражировочных циклов посещают цветки только определённого вида растений (Радченко, Песенко, 1994). Это обеспечивает перенос преимущественно конспецифичной пыльцы, повышая эффективность оплодотворения (Хвир, 2011).

Важную роль в успешности опыления играет также физиологическая особенность пчёл, связанная с секрецией желез. Выделения мандибулярных желез и железы Дюфура обладают ингибирующим действием на прорастание пыльцы на теле насекомого. Это позволяет пыльцевым зёрнам сохранять жизнеспособность до момента попадания на рыльце пестика (Радченко, Песенко, 1994).

Уточним, что в данной работе термин «пчёлы» (синонимичный понятию «пчелиные») применяется ко всем представителям таксономической группы надсемейства Apoidea, секции Anthophila. Согласно современной классификации, надсемейство Apoidea входит в инфраотряд Aculeata (жалоносные перепончатокрылые) и подразделяется на две секции: Sphecoidea (сфекоидные осы) и Anthophila (пчёлы) (Карцев и др., 2013). Секция Anthophila объединяет 9 семейств, из которых 7 представлены на территории России (Michener, 2007; Antropov et al., 2017).

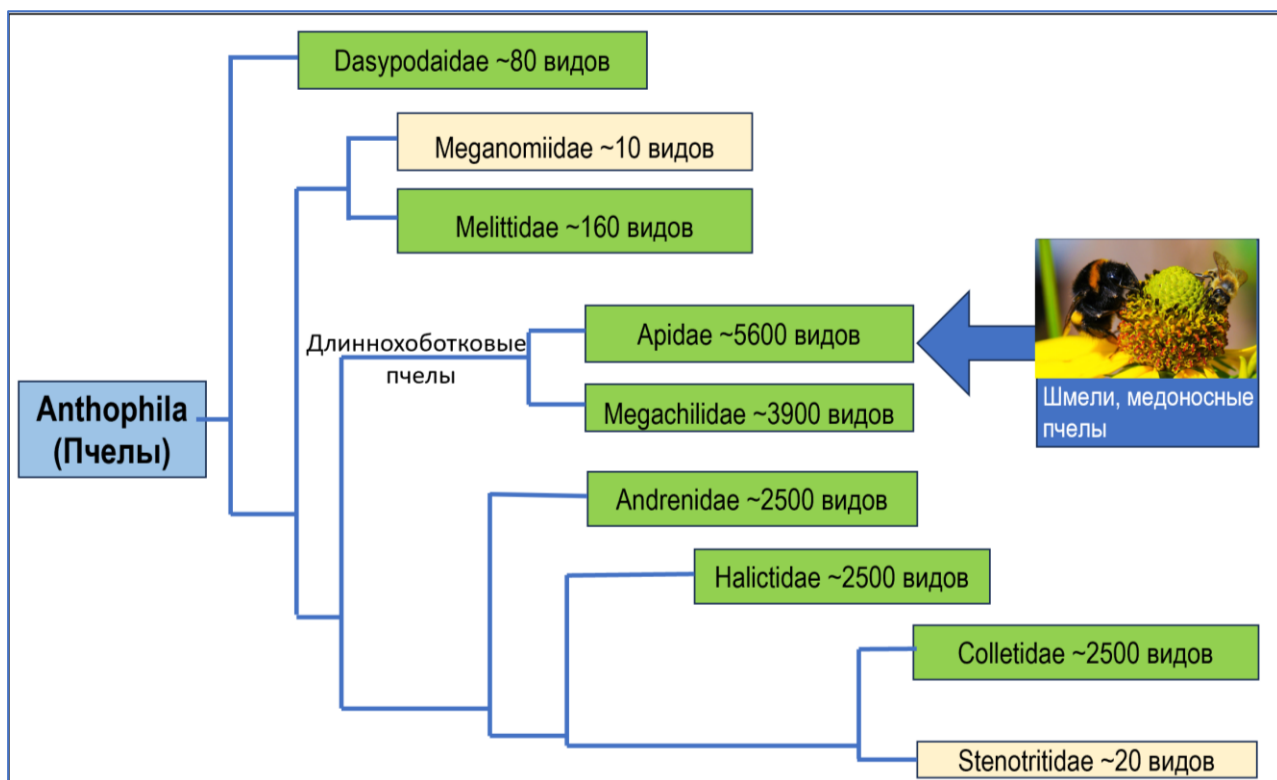


Рисунок 1.2 – Кладограмма секции Anthophila. В качестве терминальных групп выступают семейства (с указанием числа видов). Зеленым выделены семейства пчел, представленные на территории России (на основе Danforth et al., 2006; Карцев и др., 2013)

На настоящий момент по всему миру описано более 16 000 видов пчёл (Michener, 2007), из них самыми эффективными опылителями энтомофильных сельхозкультур считаются, медоносные пчёлы (*Apis mellifera*), шмели (*Bombus spp.*), пчёлы-листорезы (*Megachile spp.*) и осмии (*Osmia spp.*) (Nogué et al., 2016).

Особую роль в опылении сельхозкультур играет повсеместно разводимая медоносная пчела (*Apis mellifera*). По данным НИИ Пчеловодства, стоимость увеличения урожая энтомофильных культур за счет опыления медоносными пчелами в 10 и более раз превышает стоимость прямой продукции пчеловодства (меда, воска, прополиса и др.) (Лебедев, Кривцов, 2006). Основными преимуществами медоносной пчелы как опылителя являются широкий спектр посещаемых растений и длинный период лёта, охватывающий весь теплый сезон (Радченко, Песенко, 1994). При сборе пыльцы и нектара медоносные пчёлы способны преодолевать от улья до кормового растения расстояние в 1–2 км (Комлацкий и др., 2009), хотя наиболее эффективно они используют медосбор в

радиусе 500 м. от улья (Прибылова, Иванов, 2010), что все равно больше, чем средняя дальность лета подавляющего большинства видов диких пчел.

Другим важным преимуществом использования медоносных пчёл является возможность мобилизации большого числа особей на конкретном участке. Каждая пчелиная семья состоит из многочисленных и долгоживущих особей, а благодаря отработанной технологии культурного пчеловодства количество семей является величиной, регулируемой человеком (Гребенников, 1984). При сборе пыльцы и нектара пчёлы способны преодолевать расстояние от улья до кормового растения в 1–2 км (Комлацкий и др., 2009). Хотя наиболее эффективно они используют медосбор в радиусе 500 м от улья (Прибылова, Иванов, 2010), этот показатель все же превышает среднюю дальность лёта подавляющего большинства видов диких пчел. Эффективность опыления дополнительно повышается за счет планового подвоза ульев к цветущим культурам с соблюдением научно обоснованных норм насыщения (Комлацкий и др., 2009).

Эффективности медоносной пчелы как опылителя способствуют и ее анатомо-поведенческие особенности. К ним относятся, в частности, длинный хоботок, позволяющий добывать нектар из глубоких венчиков, развитая способность к запоминанию формы цветка, а также уникальная система коммуникации, информирующая других особей о местонахождении источников пищи (Наумкин, Мазалов, 2016).

Однако, как ни велика роль домашних медоносных пчёл в перекрестном опылении энтомофильных растений, они не могут полностью обеспечить выполнение экосистемной функции опыления в агроценозах. Это связано в первую очередь с недостаточным количеством пчелиных семей не только для насыщенного, но даже для минимального опыления имеющихся площадей энтомофильных культур (Aizen, Harder, 2009). Установлено, что за период 1989–2019 гг. рост мирового спроса на опыление 49 важнейших энтомофильных культур в 2,3 раза превысил рост численности пчелосемей (Mashilingi et al., 2022). Главная причина сложившегося дисбаланса заключается в том, что количество пчелосемей определяется прежде всего рентабельностью производства продукции

пчеловодства, а не реальными потребностями сельского хозяйства в опылении. Решение проблемы путем аренды ульев сопряжено со значительными дополнительными затратами (Groff et al., 2016), что ограничивает возможности его практического применения.

Другим фактором, ограничивающим универсальность медоносных пчёл как опылителей, является их низкая эффективность в опылении ряда культур. Некоторые культурные растения наиболее успешно опыляются именно адаптированными к ним видами диких пчёл (напр., клевер, некоторые сорта яблонь) (Ченикалова, 2005). Так, многолетнее бобовое растение люцерна посевная (*Medicago sativa*) имеет цветки взрывчатого типа: в закрытом цветке, тычиночная колонка сжата в лодочке и удерживается от выбрасывания замковым аппаратом цветка. При воздействии физического усилия насекомого колонка с силой выбрасывается, и пыльники бьют по телу пчелы – происходит вскрытие цветка. Медоносных пчёл этот удар нередко пугает, поэтому они стараются его избежать и забрать нектар, не вскрывая цветка, и следовательно, не получая доступ к пыльцевым зернам (Иванов, Прибылова, 2008). Наибольшей активностью по вскрытию цветков люцерны отличаются дикие опылители, особенно эффективна люцерновая пчела-листорез (*Megachile rotundata*). Кроме того, медоносные пчёлы посещают люцерну только в годы с достаточной нектарностью, тогда как для диких пчел, вскрывающих цветы ради пыльцы, нектарность не является определяющим фактором, что делает их более надежными опылителями (Добрынин, 1998). Дикie пчёлы посещают посевы люцерны и других энтомофильных культур в течение всего периода цветения, тогда как медоносные пчёлы присутствуют на поле только в фазу полного цветения (Ченикалова, 2005; Филин, Егорова, 2013).

Высока эффективность в опылении люцерны у шмелей и других крупных видов диких пчёл с длинным хоботком (антофоры, андрены, эуцеры): их скорость посещения цветков в 4 раза превосходит соответствующий показатель у медоносных пчел. По скорости посещения цветков шмели и крупные пчёлы превосходят домашних пчёл в 1,5–2,5 раза и на других культурах: клевере белом, эспарцете, доннике, люпине, гречихе и горчице (Ченикалова, Черкашин, 2019).

Помимо высокой скорости посещения цветков шмели превосходят медоносных пчёл как опылители сельхозкультур и по другим значимым признакам: размерам тела (до 20–25 мм), длине хоботка, густоте и опушения и длине волосков и способности осуществлять фуражировочные полеты при неблагоприятных для медоносных пчёл погодных условиях (Мадебейкин, 2004; Nielsen et al., 2017).

Для получения высоких урожаев энтомофильных культур необходимо видовое разнообразие насекомых-опылителей (Комлацкий и др., 2009). Согласно зарубежным и отечественным исследованиям, важную роль в повышении урожайности и жизнестойкости сельскохозяйственных культур, для которых медоносная пчела сама по себе является эффективным опылителем, имеет сочетание опылительной работы медоносных и диких пчёл (Мадебейкин, 2004; Комлацкий и др., 2009; Garibaldi et al., 2013). В добавочной опылительной силе диких пчёл нуждаются многие овощные, бахчевые и плодовые культуры, а также многолетние бобовые, возделываемые на семена (Радченко, Песенко, 1994). Короткий период лёта диких пчёл (1–2 мес.) компенсируется большим количеством обитающих на одной территории видов, среди которых можно выделить несколько фенологических групп, сменяющих друг друга в опылении цветущих сельхозкультур, охватывая весь вегетационный период (Ченикалова, 2005).

Значимость диких пчёл для агроэкосистем подтверждается как глобальными, так и региональными исследованиями. Показано, что на культуры, опыляемые дикими пчелами, приходится приблизительно 9,5% мировой сельскохозяйственной продукции (Gallai et al., 2009). Важная роль диких пчёл в опылении энтомофильных культур неоднократно подтверждалась и в исследованиях, проведённых в Европейской части России (напр., Голиков, 2000; Артохин, 2002; Добрынин, 1998; Ченикалова, 2019).

Эффективность опыления сельхозкультур дикими пчелами напрямую зависит от их обилия и видового разнообразия, которые определяются совокупностью условий, складывающихся в агроландшафтах. Литературный анализ позволяет выделить основные факторы численности диких пчел:

1. **Обилие кормовых ресурсов.** Для устойчивого существования в агроландшафте диким пчелам необходимы достаточные площади цветущих растений, последовательно и непрерывно сменяющих друг друга на протяжении всего теплого сезона и обеспечивающих насекомых необходимым количеством пыльцы и нектара (Комлацкий и др., 2009; Ricketts et al. 2008). Доступность ресурсов питания для пчёл во многом зависит от структуры земельного покрова агроландшафта.

2. **Доступность мест для гнездования.** Поскольку ключевой экологической особенностью гнездостроящих пчёл является забота о потомстве, их численность напрямую зависит от доступности подходящего субстрата для сооружения гнезд. В зависимости от вида это может быть ненарушаемый почвенный покров, готовые полости в стеблях травянистых растений, дупла, гнилая древесина и др. (Potts et al., 2005; Ricketts et al., 2008). Важным условием выступает и сохранность гнезда в зимний период, обеспечивающая успешную зимовку насекомых (Наумкин, Мазалов, 2016). Кардинальные изменения в землепользовании и образе жизни людей в XX в. – распашка целинных земель, асфальтирование дорог, замена старых бревенчатых строений новыми – привели к уничтожению поселений диких пчёл и сокращению мест, пригодных для строительства новых гнезд (Малышев, 1963), что негативно отразилось на популяциях различных групп диких пчел.

3. **Пестицидный пресс.** Из всех групп пестицидов, применяемых в агротехнике сельхозкультур, наиболее губительными для пчёл являются инсектициды и акарициды, из которых наиболее опасными считаются средства из группы неоникотиноидов, являющиеся нейротоксинами и приводящие к многочисленным изменениям поведения пчёл (Соловьева, 2012).

4. **Погодные условия.** Численность диких пчёл в текущем сезоне во многом определяется погодными условиями предшествующего года – количеством осадков и суммой активных температур, сформировавшими зимующий запас (Радченко, Песенко, 1994). При этом для роющих пчёл и видов, использующих готовые полости, оптимальной является умеренно засушливая погода, при которой

в цветках интенсивно выделяется более сахаристый нектар, сухая пыльца легче собирается и транспортируется, а в гнездах замедляются гнилостные процессы. С позиции опыления подобная погода также благоприятна, поскольку пыльцевые зерна в сухую погоду прорастают медленнее, что увеличивает период возможного опыления. Кроме того, существенную роль играет отклонение текущих погодных условий от многолетней нормы: пчёлы хорошо адаптированы к типичным показателям условий местности, поэтому любое отклонение от нормы ведет к снижению их численности (Ченикалова, 2005).

5. Естественные враги и болезни. Дикие пчёлы подвержены воздействию многочисленных естественных врагов и заболеваний. Их патогены и паразиты включают три основные экологические группы: виды, паразитирующие на расплоде и потребляющие гнездовые запасы (клептопаразиты); паразиты взрослых особей (напр., гамазовые клещи); а также хищники, разрушающие гнёзда (напр., ктыри, роющие осы) (Ченикалова, Чаплыгин, 2004). Несмотря на наличие у пчёл защитных механизмов, таких как добавление бактерицидных и фунгицидных секретов в личиночный корм и облицовку ячеек, расплод и зимующие имаго часто гибнут от воздействия патогенных микроорганизмов. Среди них встречаются узкоспецифичные для отдельных групп пчёл бактерии (напр., *Streptococcus pluton*), грибы и актиномицеты (Радченко, Песенко, 1994).

6. Палы (рис. 1.3). Весенние палы травы уничтожают пчелиные гнезда, расположенные на поверхности почвы и в сухих полых стеблях травянистых растений (Бутовский, 2017). Вместе с тем в травянистых экосистемах огонь выполняет и другую функцию: удаляя слой войлока и ветоши (напр., от вейника наземного (*Calamagrostis epigejos*)), он высвобождает участки почвы, делая их более пригодными для гнездования роющих пчел. Отсюда следует, что пирогенный фактор оказывает двойственное влияние на гнездовые ресурсы пчел. Ввиду нерегулярного характера возникновения палов их влияние на динамику

численности диких пчёл оценивается как менее значимое по сравнению с другими факторами.



Рисунок 1.3 – Залежь, пострадавшая от весеннего пала (июль 2021)

Здесь и далее в работе использованы авторские фотографии, сделанные в Венёвском районе Тульской области в 2021–2024 гг. (если не указано иное).

Проведённый анализ факторов, регулирующих численность диких пчёл как ключевого компонента комплекса опылителей энтомофильных сельскохозяйственных культур в агроландшафте, позволяет сделать следующие обобщения. Установлено, что обеспеченность агроландшафтов экосистемной услугой опыления наряду с действием естественных условий определяется двумя группами факторов, связанных с управлением сельскохозяйственным землепользованием на разных пространственных уровнях. К первой группе относятся применяемые агротехнологии, включающие использование пестицидов, систему обработки почвы, а также насыщение севооборотов энтомофильными культурами. Вторую группу составляют параметры пространственной организации территории (структура угодий), которые определяют доступность субстратов гнездования и кормовых ресурсов, необходимых для поддержания популяций диких опылителей.

ГЛАВА 2. УПРАВЛЕНИЕ ЭКОСИСТЕМНОЙ УСЛУГОЙ ОПЫЛЕНИЯ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Актуальность проведения оценки и мониторинга экосистемных услуг определяется необходимостью формирования более полного представления у общества и субъектов управления природопользованием о ценности жизнеобеспечивающих функций экосистем (Costanza et al., 2014). В свою очередь, подобные оценки выступают не просто инструментом информирования, но и действенным механизмом долгосрочного планирования, так как они дают возможность сравнивать альтернативные сценарии изменения землепользования по значимым для субъектов управления критериям (Bastian et al., 2012; Albert et al., 2016).

Особую значимость в настоящий момент обретают исследования возможностей учета экосистемных услуг разных категорий в системе управления сельскохозяйственным землепользованием с целью достижения компромисса между максимизацией устойчивого урожая и сохранением средообразующих функций – иначе говоря, для разрешения противоречия между обеспечивающими и регулируемыми услугами (Holt et al., 2016; Simoncini et al., 2019).

Специфика агроландшафтов при производстве экосистемных услуг состоит в мозаичном характере их структуры землепользования и наличии функциональных связей между соседними пространственными единицами, создающих потоки регулирующих экосистемных услуг внутри агроландшафта (Хорошев и др., 2019; Экосистемные услуги России..., Т. 2, 2020). Потоки услуг, получаемых от агроландшафтов и производимых ими, систематизированы на рисунке 2.1 (на основе Zhang et al., 2007). При этом на схеме также отражены сопутствующие отрицательные эффекты (т. н. ecosystem disservices). Основу устойчивого функционирования агроландшафтов и слагающих их агроценозов составляет комплекс регулирующих услуг (левая часть рис. 2.1). Отрицательные эффекты, сопровождающие сельскохозяйственное освоение земель и аграрное

производство, негативно сказываются на поддерживающих сельское хозяйство функциях (например, отравление диких опылителей и энтомофагов инсектицидами влияет на обеспеченность энтомофильных культур опылением и биологический контроль вредителей) и могут увеличить поток отрицательных услуг, получаемых агроценозами (например, разрушение местообитаний насекомых-энтомофагов может привести к росту популяций вредителей).

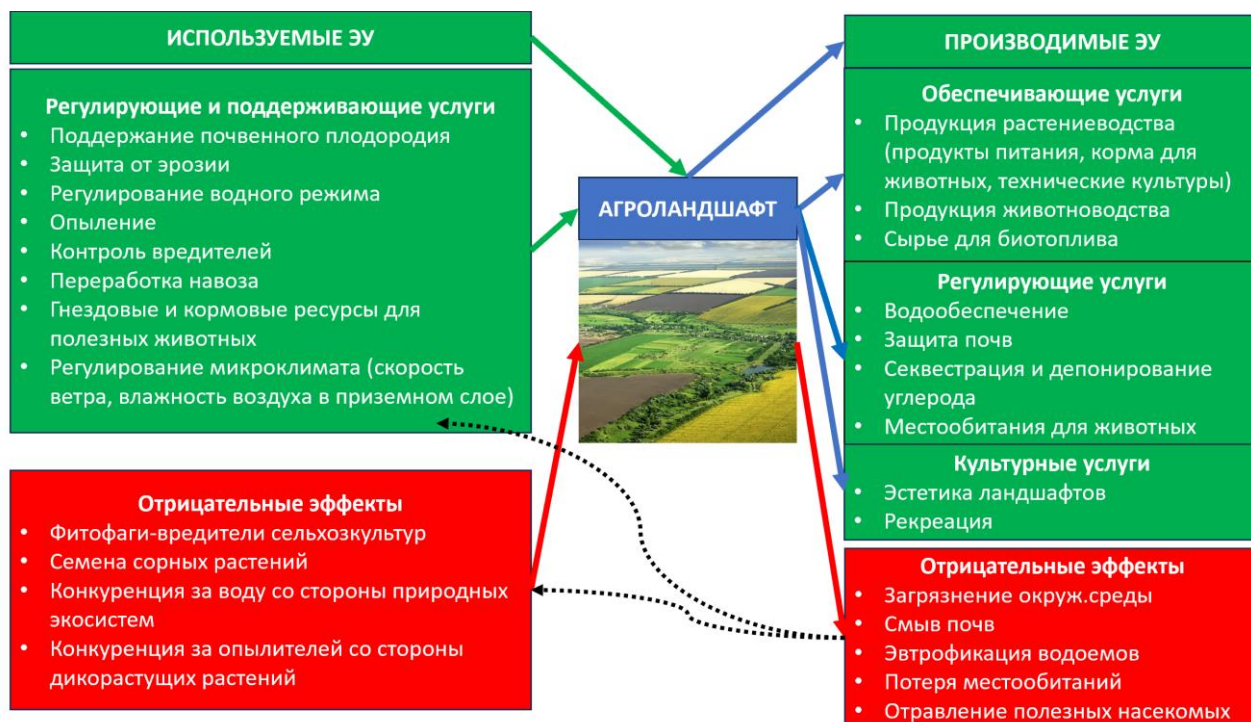


Рисунок 2.1 – Экосистемные услуги получаемые и производимые агроландшафтами (на основе Zhang et al., 2007)

Если цель управления обеспечивающей услугой производства сельхозпродукции заключается в долгосрочной максимизации урожая (Mueller et al., 2012), то управление регулируемыми услугами направлено на устойчивое функционирование агроэкосистем, базирующееся на поддержании естественного уровня биоразнообразия (Экосистемные услуги России..., Т.1, 2016). В частности, управление опылением должно обеспечивать сохранение численности, видового и функционального разнообразия диких насекомых – эффективных опылителей местных энтомофильных культур. Привлечение домашних медоносных пчёл к опылению остается за рамками данной работы.

2.1. Оценка состояния экосистемной функции опыления

В ряде работ опыление квалифицируется как поддерживающая (промежуточная) экосистемная услуга, понимаемая как экосистемная функция, обеспечивающая сохранение растительного покрова в пределах экологического каркаса агроландшафта (см., например, Mace, Bateman, 2021). Вместе с тем высокая значимость перекрёстного опыления для устойчивого функционирования агроландшафтов делает необходимой оценку состояния данной функции применительно к культурным растениям. К настоящему моменту в литературе отсутствует консенсус относительно сущности экосистемной услуги опыления сельскохозяйственных культур. Существующие определения разнообразны и, как правило, напрямую связаны с используемыми методами оценки. Как показал научный обзор Liss et al. (2013), охватывающий 239 исследований, в научной литературе сложилось пять основных трактовок экосистемной услуги опыления:

- 1) обилие и видовое разнообразие насекомых-опылителей в агроландшафте;
- 2) урожайность сельскохозяйственных культур в компоненте, зависящем от перекрестного опыления;
- 3) объём перенесённой конспецифичной пыльцы;
- 4) частота посещения цветков насекомыми-опылителями;
- 5) пригодность напочвенного и растительного покрова для гнездования и питания опылителей.

С каждым определением связаны определенные компоненты экосистемной услуги опыления, для измерения которых выбираются подходящие метрики (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Компоненты и индикаторы экосистемной услуги опыления (по Liss et al., 2013)

Компонент ЭУ опыления	Возможные индикаторы
Экологические показатели: <ul style="list-style-type: none"> • Биоразнообразие • Видовое обилие • Характеристики экосистем • Функции экосистем 	Видовое разнообразие опылителей, видовое разнообразие энтомофильных растений, обилие опылителей, количество пчелиных гнезд, проективное покрытие цветущей растительностью, частота посещения цветков, процент завязывания плодов и семян, количество перенесенной пыльцы
Экосистемные товары	Урожайность сельхозкультур
Антропогенный компонент	<ul style="list-style-type: none"> • Площадь энтомофильных культур • Количество ульев медоносных пчел • Создание элементов экологического каркаса (лесополосы, полосы с цветущей растительностью) • Применение пестицидов
Оценочные показатели	<ul style="list-style-type: none"> • Стоимость урожая энтомофильных культур • Субъективная оценка сельхозпроизводителей ценности опыления
Абиотические условия	Погодные условия, тип почвы, рельеф местности

Выявленные в ходе анализа трактовки экосистемной услуги опыления могут быть объединены в две категории. К первой относится **потенциал (или представленный объем) опыления**, оцениваемый через присутствие достаточного количества опылителей в ландшафте. Согласно научно-аналитическому обзору работ по изучению экосистемной услуги опыления, опубликованных в период 2001–2016 гг., к этой категории относится 40% исследований (Bartholomée, Lavorel, 2019). Вторая категория – **результативность опыления**, выражающаяся либо в эффективности переноса пыльцы (объеме конспецифичных пыльцевых зерен, доставленных к рыльцам), либо в объеме полученной продукции энтомофильных культур.

Каждой из выделенных категорий соответствует специфический набор методов исследования (рис. 2.2). Согласно обзору Bartholomée, Lavorel (2019), 90%

всех исследований экосистемной услуги опыления основаны на материалах полевых и экспериментальных исследований, и лишь в небольшой доле исследований выводы базируются на результатах моделирования. Исследования экосистемной услуги опыления как результата опираются главным образом на полевые и экспериментальные методы. Среди полевых методов можно выделить: наблюдения за насекомыми на цветущей растительности (для учета частоты посещений), сбор насекомых-опылителей (с целью точного определения видовой принадлежности и оценки количества пыльцевых зерен на их теле), анализ пыльцы, геоботанические исследования, а также эксперименты по оценке изменения урожайности в зависимости от условий и агентов опыления.



Рисунок 2.2 – Методы оценки экосистемной услуги опыления (составлено автором)

Методы моделирования преимущественно применяются в исследованиях, где экосистемная услуга опыления трактуется как присутствие насекомых-опылителей в агроландшафте. Основное преимущество данного подхода заключается в возможности оценивать обеспеченность полей опылением без проведения масштабных полевых учетов, поскольку он позволяет использовать экспертные оценки и привлекать доступные литературные данные по изучаемой территории. Кроме того, универсальность таких моделей открывает перспективы их применения неспециалистами для решения практических задач в области управления сельскохозяйственным производством.

Для пространственного моделирования экосистемной услуги опыления применяются два подхода: агентное (agent-based) и процессное (process-based) моделирование (рис. 2.2). Метод **агентного моделирования** предполагает, что состояние и динамика системы в целом – это результат индивидуальной активности автономных агентов – в данном случае пчел-опылителей, функционирующих и взаимодействующих друг с другом внутри системы. Наиболее продвинутые из доступных в настоящее время моделей – программы BEEHAVE и Bumble-BEEHAVE (Becher et al., 2014, 2018), используют агентно-ориентированный подход, моделирующий поведение эусоциальных пчёл – домашних медоносных и шмелей. Основываясь на эмпирических данных и экспертных знаниях, эти программы позволяют смоделировать развитие и фуражировочное поведение пчелиных колоний в разных ландшафтах с учетом различных факторов: погодные условия, кормовая база, клещи варроатоз, вирусные инфекции, пестицидный пресс и пчеловодческие практики. Агентное моделирование требует значительных вычислительных ресурсов и поэтому мало применимо на больших пространственных масштабах (Gardner et al., 2020). Кроме того, существующие программы не позволяют учесть поведение одиночных пчел, как правило, составляющих значительную долю опылителей.

Процессное моделирование – это математическое представление потенциальных процессов, протекающих при функционировании динамических систем (Wolkenhauer et al., 2013). Существует две группы процессно-ориентированных моделей распределения опылителей в ландшафте – модели распределения видов и модели, основанные на параметрах типов земельного покрова (Perennes et al., 2021). Работы, построенные на **моделировании распределения видов** (SDM – Species Distribution Models), занимают небольшую долю от общего числа исследований с использованием моделей. SDM-модели, применяемые для оценки опыления (напр. Polce et al., 2013; Nogué et al., 2016), основаны на расчете корреляционной зависимости между характеристиками окружающей среды и данными о встречаемости видов насекомых-опылителей. Это позволяет выделить факторы, влияющие на распространение разных видов на территории исследования. Преимуществом таких моделей является возможность смоделировать распределение разных групп опылителей, отличающихся по своим

экологическим особенностям (напр., не только пчел, но и мух-сирфид). SDM-модели учитывают в динамике климатические характеристики, что позволяет проводить оценки опыления на больших территориях с неоднородными природными условиями (Perennes et al., 2021). При этом анализ использования 33 SDM-моделей на сообществах животных и растительных организмов (Norberg, 2019) показал, что результат моделирования на 36% зависит от типа полученных данных, а разрешение доступных данных по параметрам окружающей среды и количество записей о встречаемости насекомых, как правило, невелики, что отрицательно сказывается на точности результатов моделирования (Perennes et al., 2021).

Более распространены модели опыления, **основанные на характеристиках земельного покрова** изучаемой территории (Burkhard et al., 2009). Как правило, они направлены на моделирование пространственного распределения в агроландшафте диких пчел, и учитывают биологические и экологические особенности именно этой группы насекомых (Bartholomée and Lavorel, 2019).

Наиболее широко применяемая методика оценки опылительного потенциала территорий разработана Lonsdorf et al. (2009) и известна как «модель Лонсдорфа». Большинство современных методологических разработок по оценке опыления (например, Zulian et al., 2014; Ollson et al., 2015; Häussler et al., 2017; Perennes et al., 2021; Rahimi et al., 2021a) посвящены развитию модели Лонсдорфа и преодолению её ограничений.

Модель Лонсдорфа представляет собой формализацию экологического компонента концептуальной схемы, предложенной Kremen et al. (2007) для описания пространственного распределения опылительной активности и влияния изменений в сельскохозяйственном землепользовании на экосистемную функцию опыления. В основе модели лежит научно обоснованная предпосылка о том, что устойчивое существование популяций диких пчёл в ландшафте обеспечивается наличием двух типов ресурсов: субстрата для гнездования и кормовых растений, доступных в пределах радиуса фуражировочных полетов от гнезда (Lonsdorf et al., 2009). Входными данными модели служат оценки доступности этих ресурсов для

каждого класса земельного покрова на исследуемой территории. Такие оценки могут быть получены на основе полевых измерений, литературных данных или экспертных заключений. Дополнительно в модель загружаются характеристики обитающих в агроландшафте экологических групп (гильдий) пчел: фенология, субстрат гнездования, относительное обилие, средняя дальность фуражировочных полетов от гнезда.

В качестве базовых пространственных единиц анализа в модели Лонсдорфа выступают пиксели растровой карты, каждый из которых соответствует определенному классу земельного покрова. По результатам моделирования каждый пиксель территории с точки зрения опыления характеризуется двумя показателями: ценностью как потенциальное место гнездования диких пчёл и потенциальным обилием пчёл на нем. Для количественной оценки этих характеристик модель предполагает вычисление двух относительных индексов (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Пространственное моделирование экосистемной услуги опыления по методике Лонсдорфа (составлено автором, изображения – Natural Capital Project)

В качестве первого результата моделирования выполняются расчёт и картографирование **индекса источников опылителей** (*Pollinator source index*), отражающего относительное обилие гнёзд на один пиксель карты. Для успешного гнездования пчёл на определенном участке необходимо наличие не только подходящего субстрата, но и стабильной кормовой базы в пределах радиуса фуражировочных полетов от гнезда (Kline and Joshi, 2020). Соответственно, расчет

индекса опирается на данные о доступности субстратов гнездования для каждого пикселя земельного покрова и кормовых ресурсах на прилегающих пикселях. При оценке кормовой базы ближайшим к гнезду пикселям присваивается больший вес по сравнению с удаленными, поскольку вероятность посещения цветков экспоненциально затухает по мере увеличения расстояния от гнезда. Результатом таких вычислений становится карта источников опылителей.

Индекс источников опылителей лежит в основе расчета второго показателя – **индекса обилия опылителей** (далее по тексту – ИОО, *Pollinator abundance index*), который непосредственно выступает индикатором потенциального объема экосистемной услуги опыления. Значение ИОО для каждого пикселя определяется двумя факторами: обилием кормовых ресурсов, привлекающих опылителей, и их доступностью с учетом удаленности от мест гнездования. В формулу вычисления индекса заложено экспоненциальное снижение обилия опылителей по мере увеличения расстояния от гнезд. В зависимости от целей исследования ИОО может рассчитываться как по сезонам, так и ежемесячно. Важно подчеркнуть, что, хотя данный индекс опирается на информацию о локальной фауне пчел, его значение отражает не абсолютную прогнозируемую численность насекомых, а сравнительную оценку обеспеченности опылителями каждого пикселя относительно других в границах модельной территории.

Популярность модели Лонсдорфа для оценки экосистемной услуги опыления заключается прежде всего в её способности преобразовать сложные экологические процессы в наглядные, применимые на практике результаты в виде картографического отображения пространственной вариабельности потенциала опыления в агроландшафте. Важнейшим практическим достоинством является её способность переводить характеристики земельного покрова в количественные и экономически значимые показатели, значимые для лиц, принимающих решения. Кроме того, модель служит мощным инструментом для прогнозирования, позволяя моделировать различные сценарии землепользования, что помогает планировать устойчивое развитие территорий. При всей своей функциональности модель отличается относительной простотой и доступностью по сравнению с

дорогостоящими полевыми исследованиями, так как позволяет провести оценку по доступным данным, в том числе экспертным оценкам значений параметров.

Благодаря этим преимуществам именно модель Лонсдорфа, а именно ее модифицированная версия, откалиброванная на полевых данных в агроландшафтах тропической и умеренной зон, легла в основу свободно распространяемой программы InVEST Crop Pollination из программного пакета InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) (<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>, разрабатываемого в рамках проекта Natural Capital Project Стэнфордского университета * (<https://naturalcapitalproject.stanford.edu>). Кроме расчета относительных индексов источников и обилия опылителей, эта программа обладает дополнительным функционалом – возможностью рассчитать для заранее заданных полей индекс вклада диких опылителей в урожайность возделываемых культур с учетом зависимости урожайности от энтомофильного перекрестного опыления и наличия на территории пасек с медоносными пчелами.

В руководстве к программе InVEST Crop Pollination разработчики указывают на ограничения модели (Sharp et al., 2020). Во-первых, модель основана на индексах и оценивает лишь относительные закономерности распределения численности опылителей, а также вклад опыления в урожайность сельскохозяйственных культур. Это связано с тем, что абсолютные оценки плотности гнездования, доступности кормовых ресурсов и численности опылителей доступны редко, а данные о зависимости урожайности от перекрестного опыления имеются далеко не для всех культур. Относительные индексы, получаемые в результате расчетов модели, ограничивают возможности получения экономических показателей, необходимых для принятия решений в области управления землепользованием.

Второе ограничение модели, признаваемое разработчиками, заключается в отсутствии учета различий в эффективности разных видов (или гильдий) опылителей при опылении конкретных культур. Модель исходит из допущения,

* Деятельность организации признана нежелательной на территории РФ

что все виды одинаково эффективны в переносе пыльцы, а вклад каждой гильдии пропорционален ее относительной численности в сообществе.

Еще одним существенным ограничением является то, что модель не учитывает динамику популяций диких пчел. Следовательно, с помощью программы InVEST Crop Pollination невозможно оценить устойчивость этих популяций при текущей структуре землепользования.

К числу отмеченных разработчиками ограничений модели относится также отсутствие учета минимальных размеров участков земного покрова, пригодных для гнездования. В то же время для многих видов пчёл существует пороговая площадь местообитания, необходимая для поддержания жизнеспособной популяции в долгосрочной перспективе (Kremen et al., 2004). Неудовлетворительный учет моделью особенностей фуражировочного поведения пчёл (Olsson et al., 2015) был преодолен в программе InVEST путем интеграции принципов теории фуражиров центрального места (InVEST..., 2024).

Авторы исследований экосистемной услуги опыления отмечают и другие недостатки модели Лонсдорфа, снижающие точность оценивания относительного обилия опылителей в агроландшафте: зависимость от экспертных оценок, невозможность включения в анализ абиотических факторов (Perennes et al., 2021), а также изменчивость доступности субстрата гнездования и кормовых растений в пределах участков, однородных по типу земельного покрова (Zulian et al., 2014; Rahimi et al., 2021a), и различия в качестве энтомофильной флоры на разных типах земельного покрова (Rahimi et al., 2021b). В последние модификации модели Лонсдорфа были интегрированы такие факторы как предпочтение пчелами определенных субстратов гнездования и видов цветущих растений, прирост популяций пчёл в течение сезона, различия в дальности фуражировочных полетов самок и рабочих особей, а также показатели частоты посещений цветков пчелами (Häussler et al., 2017). Единственное ограничение модели Лонсдорфа, которое сохраняется в более поздних методиках, – это неистощимость кормовых ресурсов, исключая конкуренцию между опылителями за нектар и пыльцу (Olsson et al., 2015, Häussler et al., 2017).

Следует отметить также и то, что модель Лонсдорфа не учитывает некоторые специфические особенности, связанные со взаимным расположением пространственных единиц, принадлежащим к разным классам землепользования. Например, численность опылителей на пашне, прилегающей к лесополосе, может быть высокой не только из-за того, что лесополоса является источником опылителей, но и вследствие изменений микроклимата поля, влияющих на нектаровыделение произрастающих на нем энтомофильных культур (Лазарев, Муха, 1989; Самсонова, Сидаренко, 2022).

Несмотря на указанные выше ограничения, модель Лонсдорфа остается удобным и востребованным инструментом для оценки пространственного распределения диких пчёл при различных сценариях землепользования и широко применяется в современных научных исследованиях. Данная методика, часто в модифицированном виде, применялась для моделирования потенциала опыления – как общего, так и для отдельных энтомофильных культур – на различных пространственных уровнях: от макрорегионов (Maes et al., 2013; Nogué et al., 2016 – Европа) и государств (например, Koh et al., 2015 – США; Wentling et al., 2015 – Португалия; Ouyang et al., 2019 – Китай; Veldtman, Lange, 2025 – ЮАР) до уровня административных территориальных единиц (например, Groff et al., 2016 – штат Мэн, США; Delgado-Carrillo et al., 2024 – штат Халиско, Мексика; Hinsch et al., 2024 – регион Ганновер, Германия) и отдельных населенных пунктов и ландшафтов (например, Zhao et al., 2019 – Айова-Сити, США; Davis et al., 2017 – Чикаго, США; Jančovič, 2017 – Нитра, Словакия с пригородами; Kašpar et al., 2025 – долина р. Рин, Бранденбург, Германия). Модель Лонсдорфа находит применение и при оценке вклада отдельных типов экосистем в предоставление экосистемной услуги опыления, что отражено в работах Hinson et al. (2024) – для болотных угодий США, Rusicumugambi et al. (2025) – для тропических лесов Руанды, Kašpar et al. (2025) – для болотных угодий долины р. Рин (Бранденбург, Германия).

В отечественной практике количественная оценка экосистемной услуги опыления с использованием модели Лонсдорфа до настоящего времени не проводилась. Исследования экосистемной услуги опыления в отечественной науке

остаются немногочисленными, а имеющиеся оценки выполнены с использованием авторских методических подходов. К числу наиболее значимых отечественных работ относится региональная оценка экосистемных услуг в пределах европейской территории России, представленная в сводном труде «Экосистемные услуги России» (Т. 2, 2020). В рамках данного проекта услуга опыления, предоставляемая насекомыми природных экосистем, была охарактеризована по трём ключевым показателям: 1) фактический объём услуги, продуцируемый природными экосистемами; 2) потребность в услуге со стороны сельского хозяйства; 3) степень удовлетворения этой потребности. Также заслуживает внимания работа по качественной оценке объёма услуги опыления, предоставленного естественными экосистемами Калининградской области (Гаева, 2015).

2.2. Уровни управления экосистемной услугой опыления

В исследованиях по проблематике экосистемных услуг отмечается, что основным препятствием к внедрению оценок экосистемных услуг в процесс принятия управленческих решений выступает недоступность информации на нужных субъектам управления пространственных уровнях (Turner, Daily, 2008).

В зарубежной литературе по вопросам управления экосистемными услугами в сельском хозяйстве, к числу которых относится и опыление, выделяют два пространственных уровня управления: ландшафтный (*landscape level*) и уровень хозяйства (*farmscape level*) (Smukler et al., 2012; Rahimi et al., 2021b). Данные уровни различаются пространственным масштабом, субъектами и инструментами управления (Power, 2010). Необходимость двухуровневого анализа экосистемной услуги опыления обусловлена тем, что обеспеченность сельскохозяйственных угодий опылителями зависит от взаимодействия двух групп факторов: с одной стороны, структуры земельного покрова, формирующейся на ландшафтном уровне, а с другой – агротехнических практик, применяемых сельхозпроизводителями на принадлежащих им землях (Nicholson et al., 2017). Необходимо подчеркнуть, что если границы земельных участков, находящихся в собственности отдельных хозяйств, четко определены законодательно, то понятие «сельскохозяйственный ландшафт» (*agricultural landscape*) в западной научной традиции требует дополнительного пояснения. Это связано с тем, что его содержание не соответствует значению термина «агроландшафт», принятому в отечественной ландшафтной географии (см. раздел 1.2). В западной традиции под

сельскохозяйственным ландшафтом понимается безразмерная геосистема, в структуре земельного покрова которой преобладают сельскохозяйственные угодья – посевы и посадки (Kruse et al., 2010). Как правило, данный термин обозначает обширные относительно однородные территории. Кроме того, он может использоваться для характеристики всех сельскохозяйственных земель в границах административно-территориальных единиц (Duelli, Obrist, 2003).

Двухуровневый анализ состояния экосистемной функции опыления и определяющих её факторов целесообразно применять и при исследовании сельскохозяйственных территорий России. Каждому уровню соответствуют специфические субъекты управления и методы оценки экосистемной услуги опыления (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Уровни управления экосистемной услугой опыления (составлено автором)

Первый уровень соответствует используемому в зарубежной литературе понятию *farmscape level* – это земли, принадлежащие одному хозяйству (независимо от его правовой формы: сельскохозяйственная организация, крестьянское (фермерское) хозяйство, индивидуальный предприниматель) и находящиеся под его управлением. Именно хозяйства в указанных организационно-правовых формах выступают непосредственными получателями выгод от опыления энтомофильных культур.

Территориальными единицами управления второго уровня выступают муниципальные образования – административные районы и (при необходимости) входящие в их состав сельские поселения. Именно на данном уровне осуществляются социально-экономические преобразования, влияющие на структуру землепользования, и принимаются меры, направленные на нормализацию экологической ситуации. В границах муниципального района возможно оценить общие закономерности пространственного распределения различных типов экосистем, которые, в свою очередь, оказывают влияние на состояние дикой апидофауны.

2.2.1. Возможности регулирования на уровне отдельных хозяйств

С точки зрения пространственного масштаба действия экосистемную услугу опыления относят к категории локальных услуг, зависящих от пространственной близости экосистемы к получающим выгоду людям или объектам инфраструктуры (Costanza, 2008). Радиус фуражировочных полетов диких пчёл ограничен и, как правило, не превышает нескольких сотен метров, поэтому данная услуга распространяется на территорию небольшой площади. Это позволяет отнести опыление дикими пчелами к категории точечных экосистемных услуг (*in situ* по классификации Costanza, 2008), предполагающих получение выгоды непосредственно на месте.

Эффективное управление опылением энтомофильных культур в пределах отдельных хозяйств требует детальной крупномасштабной оценки и картографирования распределения опылителей по территории хозяйства (Экосистемные услуги России..., т. 2, 2020). Используемая для оценки карта земельного покрова должна отражать небольшие по площади местообитания, пригодные для гнездования и фуражировки (небольшие лесные участки, полосы с цветущей рудеральной растительностью вдоль полей и дорог и др.), поскольку без учета этих природных экосистем модели оценки могут дать недостоверный результат (Lonsdorf et al., 2009). Кроме того, крупномасштабная оценка позволяет использовать имеющиеся у сельхозпроизводителей данные по севооборотам

отдельных полей (Экосистемные услуги России..., т. 2, 2020), выделяя в отдельную категорию те из них, в севообороты которых включены энтомофильные культуры.

Площадь территории, охватываемой крупномасштабной оценкой, не может ограничиваться землями отдельного хозяйства, поскольку закономерности распределения опылителей формируются на более высоких пространственных уровнях, не совпадающих с границами хозяйств (Kennedy et al., 2013). На состояние экосистемной услуги опыления в границах одного хозяйства влияют не только его собственная хозяйственная деятельность, но и особенности функционирования граничащих с ним хозяйствующих субъектов, земли которых расположены в пределах той же агроландшафтной единицы (Drechsler, 2023). Как отмечал А. Г. Исаченко, рациональное использование и охрану отдельных компонентов природной среды нецелесообразно проводить без оптимизации более сложных целостных территориальных единиц (Исаченко, 1980). Для решения задачи крупномасштабной оценки опыления наиболее подходящей представляется использовать в качестве объекта оценки территорию ландшафтной единицы соответствующего ранга (например, агроместность).

Совокупность мер по регулированию экосистемной услуги опыления на уровне хозяйства целесообразно разделить на два компонента: **агробиоценотический** и **внутрихозяйственный** (рис. 2.3). Первый компонент представляет собой блок мероприятий, направленных на повышение продуктивности определенных полей с энтомофильными культурами за счет оптимизации их опыления (Ченикалова, 2005).

Агробиоценотический блок управления

Агробиоценоз является первичным структурным звеном, в рамках которого осуществляется непосредственное взаимодействие человека с природной средой и целенаправленное преобразование территории с целью эксплуатации почвенных ресурсов. Основу агробиоценоза составляют искусственно созданные растительные сообщества, как правило, обедненные по видовому составу и всецело

зависящие от вещественного и энергетического вклада человека (Черников и др., 2000).

Прикладные методы повышения эффективности опыления энтомофильных сельскохозяйственных культур дикими пчелами начали изучаться в отечественной литературе еще в середине XX в. Так, В. С. Гребенников (1975) описывал разработанные школой профессора А. Н. Мельниченко агротехнические приемы задержки цветения клевера и люцерны с целью его синхронизации с массовым вылетом диких одиночных пчёл и шмелей.

Среди описанных в литературе мер агробиоценотического блока, влияющих на ключевые факторы обилия опылителей, можно выделить следующие агротехнические приемы (Мадебейкин, 2003; Ченикалова, 2005; Мельников, 2017; Ченикалова, Черкашин, 2019 и др.):

1. Стимулирование гнездования насекомых-опылителей среди посевов нуждающихся в опылении культур.

- Замена сплошных посевов однолетних и многолетних энтомофильных растений широкорядными, в междурядьях которых гнездящиеся в почве виды пчел, могут образовывать однолетние и постоянные колонии. Доказано, что пчёлы-опылители люцерны (*Melitturga clavicornis*, *Melitta leporina*, *Rophitoides canus*, *Eucera longicomis*, *Andrena flavipes* и др.), предпочитающее гнездиться в уплотненной покрытой разреженной растительностью почве, охотно селятся на полях люцерны, одиночно или образуя агрегации (Добрынин, 2011).

- Предотвращение разрушения гнезд пчёл на полях при проведении распашки. Для сохранения зимующих личинок гнездящихся в почве пчёл распашку полей, где ранее произрастали энтомофильные культуры, в особенности посеянные широкими рядами, можно заменить весенней распашкой или поверхностной обработкой почвы на глубину до 7 см.

2. Мероприятия по привлечению опылителей путем повышения качества и обеспечения непрерывной доступности кормовых ресурсов в пределах поля:

- Выбор сортов энтомофильных культур с высокой нектаропродуктивностью и сахаристостью нектара (Пельменев, Винокурова, 1985).

- Применение широкорядных посевов, что усиливает нектаровыделение некоторых культур, напр., гречихи и фацелии (Пельменев, Винокурова, 1985; Филин, Егорова, 2013).

- Использование калийно-фосфорных удобрений, что способствует более высокой нектаропродуктивности цветков многих культур (напр., люцерна, гречиха, подсолнечник, козлятник) (Мельников, 2017).

- Подсев на поле, где возделываются нуждающиеся в опылении однолетние культуры, обильных нектароносов. Например, совместные посевы подсолнечника и гречихи, повышают насыщенность опыления подсолнуха (Научные основы земледелия, 2014). Привлечение пчёл к посевам гречихи можно, в свою очередь, стимулировать за счет ее совместного возделывания с люпином (в соотношении 25:1), который отличается обильным выделением привлекающих насекомых ароматических веществ, ярким цветом и высокой нектаропродуктивностью даже при неблагоприятных метеоусловиях (Филин, Егорова, 2013). Приманочные посевы могут производиться и по периметру поля: например, для привлечения диких опылителей к полям люцерны, используется смесь эспарцета и фацелии (Добрынин, 2011).

- Повышение видового разнообразия культур на полях с многолетними травами путем подбора травосмесей с высокой долей бобового компонента (напр., клевер красный, клевер белый, люцерна, эспарцет, лядвенец рогатый, донник, козлятник).

- Минимизация или ликвидация безнектарного периода и создание в границах агроценоза нектарно-пыльцевого конвейера путем подбора культур с разными сроками цветения (для многолетних трав), варьирования сроков укосов, проведения пожнивных и повторных посевов энтомофильных культур.

- Регулирование сроков цветения. Подгонка цветения многолетних кормовых культур (напр., клевера красного и люцерны) к периоду максимального выхлода шмелей и некоторых видов одиночных пчёл путем проведения ранних укосов (Добрынин, 2011; Комлацкий и др., 2009)

3. Меры по сокращению пестицидного пресса:

- Ограничение применения пестицидов 1-го и 2-го классов опасности. Соблюдение правил проведения обработки.
- Проведение мероприятий по защите растений вне периода цветения (до начала появления первых цветков или после полного отцветания посевов).
- Предупреждение попадания препаратов на места гнездования диких пчёл (колонии и агрегации гнезд) во время обработки инсектицидами.
- Недопущение высокой доли цветущей сорной растительности на неэнтомофильных сельскохозяйственных культурах, обрабатываемых инсектицидами от фитофагов (Осинцева, 2012). Кроме того, при обработке полей следует избегать попадания препаратов на цветущую рудеральную растительность по краям пашни.

Внутрихозяйственный блок управления

Обеспеченность полей опылителями определяется не только агротехническими приемами, применяемыми на угодьях с энтомофильными культурами, но и системой управления всех земель, находящихся в собственности хозяйства. Внутрихозяйственное землеустройство, направленное на организацию рационального использования и охраны земель сельскохозяйственного назначения, должно проводиться на ландшафтно-экологической основе и предусматривать проведение природоохранных мероприятий (Баденко, 2017), в том числе направленных на поддержание популяций насекомых, полезных для аграрного производства.

Управление экосистемной услугой опыления на внутрихозяйственном уровне должно быть направлено на улучшение состояния двух основных факторов, определяющих численность диких пчел, – мест для гнездования и кормовых ресурсов. При этом поля с посевами энтомофильных культур (в первую очередь однолетних) необходимо обеспечить доступностью для диких опылителей на всей площади, поскольку дальность их полета ограничена.

Инструменты, позволяющие воздействовать на эти факторы, можно разделить на две категории:

1. Меры по **организации сельхозугодий и устройству их территорий**:

- Обоснованное изменение соотношения площадей разных типов угодий путем расширения посевов многолетних бобовых культур, обеспечивающих устойчивое состояние сообщества полезных насекомых в агроценозах (Добрынин, Прокопчук, 2013).

- Сближенное размещение участков энтомофильных культур (многолетних трав и полей с энтомофильными культурами в севооборотах) в системе полей, что позволяет сконцентрировать опылителей и сократить их миграции (Ченикалова, 2005).

- Устройство оптимально небольших по площади полей однолетних энтомофильных культур (20–50 га) с вытянутой конфигурацией (ширина поля до 500 м.) для обеспечения насыщенного опыления по всей площади (Ченикалова, Черкашин, 2019).

2. Меры по **формированию экологического каркаса** территории хозяйства, поддерживающего популяции опылителей:

- Создание полезащитных лесных полос с нектаро- и пыльценосными энтомофильными породами деревьев и кустарников (напр., верба, липа, черемуха, малина) и цветущим на протяжении всего теплого сезона разнотравьем. Лесополосы не только обеспечивают диких пчёл разных экологических групп местами гнездования и кормовыми растениями, но и, снижая скорость ветра и испарение влаги, создают на полях благоприятный микроклимат, способствующий повышению нектаровыделения произрастающих там культур (Лазарев, Муха, 1989; Самсонова, Сидаренко, 2022).

- Сохранение целинной и залежной травяно-кустарниковой растительности на неудобьях (Мадебейкин, 2003; Ченикалова, 2005).

- Охрана колоний пчёл и мест высокой плотности поселений шмелей в форме микрозаказников (Гребенников, 1984; Скалон и др., 2015).

Необходимо отметить, что для устойчивого существования на территории хозяйства популяций диких пчёл важно при подготовке проекта землеустройства предусмотреть не только наличие достаточных по площади природных экосистем

– элементов экологического каркаса, но и их разнообразие. Это позволит обеспечить доступность разных субстратов гнездования (почва с разной густотой растительного покрова, полые стебли травянистых растений, гнилая древесина, дупла деревьев) и достаточное разнообразие видов цветущих растений, предпочитаемых разными группами пчел.

Помимо упомянутых выше инструментов, в литературе рассматривается возможность организации ряда биотехнических мероприятий по поддержке диких пчёл в пределах экологических ниш и коридоров: обустройство искусственных гнездовий для шмелей и одиночных пчел, гнездящихся в готовых полостях и уплотненной почве, и подкормку шмелей и некоторых других диких пчёл жидким медово-сахарным кормом в неблагоприятные для фуражировочных полетов периоды (Мадебейкин, 2003; Добрынин, 2011).

В начале 1980-х гг., еще до появления в научном обращении термина «устойчивое развитие», стала набирать популярность концепция развития сельского хозяйства, предполагающая использование таких приемов и технологий, которые позволили бы задействовать в практике сельскохозяйственного производства естественные биологические и экологические процессы и сократить применение ресурсов, наносящих вред окружающей среде и здоровью людей. Несколько позже она получила название «устойчивое земледелие» (*sustainable agriculture*) (Pretty, 2013). В результате поиска технологических решений, объединяющих экономические, социальные и экологические аспекты земледелия, в отечественной и зарубежной науке сформировались различные концепции экологически ориентированного развития сельского хозяйства. Среди них выделяется концепция адаптивно-ландшафтных систем земледелия (Кирюшин, 2012).

Отметим основополагающие принципы, связанные с экологическим аспектом устойчивости в земледелии (Каштанов, 2001; Кирюшин, 2012; Pretty, 2013):

1. учет ландшафтно-экологических особенностей конкретной территории при планировании и управлении сельскохозяйственной деятельностью;

2. оптимизация соотношения природных (древесные и травянистые фитоценозы) и сельскохозяйственных угодий;

3. сохранение экологических функций почв и ландшафтов путем сокращения использования невозобновляемых и наносящих вред окружающей среде ресурсов, а также неустойчивых агротехнологий;

4. максимальное использование в агроценозах естественных регуляторных механизмов (напр., опыление, фиксация азота и формирование гумуса).

Описанные выше методы управления экосистемной функцией опыления в сельском хозяйстве полностью соответствуют приведенным принципам устойчивого земледелия. Устойчиво функционирующий агроландшафт с достаточной долей природного компонента в пространственной структуре и разумным подходом к химизации в пределах агроценозов способен поддерживать высокую численность и видовое разнообразие диких опылителей энтомофильных культур.

2.2.2. Возможности регулирования на муниципальном уровне

Государственное управление экосистемами и биологическими ресурсами в России реализуется на различных уровнях административно-территориальных образований, поэтому они должны быть представлены в национальной структуре экосистемного учета (Экосистемные услуги России..., т. 2, 2020). Нижним звеном в этой системе является местное самоуправление в границах муниципальных образований (Киселева, 2013). Муниципальный район, будучи базовой единицей административно-территориального деления субъектов РФ, представляет собой целостное и обособленное пространство. Оно характеризуется сложившимися взаимосвязями природных и социально-экономических условий ведения хозяйства и объединено общностью целей и задач развития (Баденко, 2017).

Вопрос о возможности применения оценок регулирующих экосистемных услуг, в частности опыления сельскохозяйственных культур, в практике муниципального управления на территории Российской Федерации остается дискуссионным. Ключевая проблема заключается в отсутствии разработанных

механизмов интеграции подобных оценок в существующую систему территориального планирования и процедуры принятия управленческих решений (Климанова и др., 2022). В связи с этим первоочередной задачей, необходимой для внедрения оценки потенциала услуги опыления в управленческую практику, является разработка методического подхода, основанного на использовании исходных данных, доступных органам местного самоуправления.

В соответствии с рекомендациями, изложенными во втором томе доклада «Экосистемные услуги России...» (2020), построение учета экосистемных услуг и активов в границах административных единиц целесообразно осуществлять на основе расчета вкладов различных типов ландшафтов в общую территорию. Следовательно, применение данного подхода предполагает проведение дифференцированного анализа всех типов агроландшафтов (агроместностей), расположенных в границах муниципального района. При этом методическая основа подобных оценок требует дополнительной разработки.

Прежде чем рассмотреть инструменты управления экосистемной услугой опыления на муниципальном уровне, необходимо осветить организационно-правовые меры, принимаемые на региональном и федеральном уровнях и способствующие сохранению популяций диких пчел. Именно обеспечение соблюдения этих законодательно закрепленных норм в области осуществления сельскохозяйственной деятельности, в частности порядка использования пестицидов, выступает одним из ключевых инструментов органов муниципального управления в сфере охраны диких насекомых-опылителей.

В отличие от услуг обеспечивающей категории, регулирующие экосистемные услуги, за исключением почво- и водозащитных функций лесов и секвестрации углерода, практически не принимаются во внимание и не регламентируются на государственном уровне (Экосистемные услуги России..., т.1, 2016). Отсутствуют государственные стратегические установки и в отношении функции опыления энтомофильных сельхозкультур. Задачи сохранения природных систем, находящихся под угрозой объектов животного и растительного мира и их местообитаний, в общих чертах сформулированы в ряде

государственных документов (ФЗ №209 «О животном мире» (1995, с изменениями от 2021), «Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (2012), Государственная программа Российской Федерации «Охрана окружающей среды» (с изменениями от 29.12.2021 №2549). Однако правовое обеспечение охраны диких опылителей на государственном уровне отсутствует. В Красную книгу Российской Федерации и региональные Красные книги, занесены некоторые редкие виды и роды пчел, теоретически являющихся эффективными опылителями сельхозкультур (например, род *Andrena* из Красной книги Московской области), однако в настоящее время не представляющих собой значимую опылительную силу ввиду низкой численности.

Значительное влияние на факторы численности диких пчёл в ландшафте оказывает законодательное регулирование на федеральном и региональном уровне отрасли пчеловодства, направленное на охрану разводимых с целью получения продукции пчеловодства (мед, воск и др.) медоносных пчёл разных пород (ФЗ «О пчеловодстве в Российской Федерации», 2020). Хотя в федеральном законе и прописано, что его действие не распространяется на диких пчёл (ст. 4.3), некоторые меры по сохранению медоносных пчёл опосредованно оказывают влияние и на пчёл из природных экосистем. В первую очередь речь идет о мерах по предотвращению отравления пчёл пестицидами и агрохимикатами, включающих ограничение применения опасных для пчёл средств и введение разрешенных временных промежутков для обработки энтомофильных культур. Более детально эти меры прописаны в региональных законах о пчеловодстве и зависят от места пчеловодства в структуре регионального хозяйства, а также от уровня развития практики использования пчёл (в том числе передвижных ульев) для опыления энтомофильных сельскохозяйственных культур с целью повышения их урожайности (Астафьев, 2007; Ханнанова, Шапошникова, 2017).

В регионах с развитым пчеловодством важное значение придается охране пчёл при проведении лесохозяйственных работ и агротехнических мероприятий. Так, до недавнего времени региональные законы о пчеловодстве Республики

Башкортостан и Чувашской Республики включали в себя и охрану диких пчёл (Закон Чувашской Республики от 19 декабря 1997 г. № 27 «О пчеловодстве и об охране пчёл и диких насекомых-опылителей»; Закон Республики Башкортостан от 31 июля 1995 г. № 6-з «О пчеловодстве»). В данных регионах были законодательно запрещены рубки пыльце- и нектароносных древесных пород (например, липа, клен, ива, акация и др.) и деревьев с дуплами, а также заготовка ивовой коры в районах развитого пчеловодства (Астафьев, 2007). Указанные меры способствовали сохранению кормовых и гнездовых ресурсов для многих видов диких пчел. Однако в новых редакциях названных законодательных актов (2017–2021 гг.) данные положения были упразднены, а термин «дикие насекомые-опылители» более не употребляется (см. действующий закон Чувашской Республики № 60 «О регулировании отдельных отношений в сфере пчеловодства» от 2021 г.).

В полномочия органов районной администрации входят практически все вопросы использования земель в границах муниципального образования (Баденко, 2017). Многие из них связаны с формированием структуры земельного покрова, площадным соотношением и пространственным расположением земель разных категорий (сельхозугодья, земли лесного фонда, застройка и др.) относительно друг друга. Именно от пространственной структуры землепользования и от доли угодий, ценных с точки зрения наличия кормовых растений и субстратов для гнездования пчел, зависит обилие насекомых-опылителей в агроландшафтах района.

Среди задач муниципальной администрации, направленных на управление пространственной структурой землепользования района, можно выделить (Киселева, 2013):

- контроль за использованием земель сельскохозяйственного и иного назначения в пределах района;
- регулирование планировки, застройки, благоустройства и озеленения;
- регулирование использования водных объектов;
- управление и распоряжение земельными участками, находящимися в муниципальной собственности.

В компетенцию муниципальной администрации входит и наиболее важное с точки зрения защиты биоразнообразия в целом и полезной энтомофауны в частности направление – весь комплекс мер по охране окружающей среды в границах района. Наиболее результативной считается территориальная охрана насекомых, в том числе диких пчел, в пределах ООПТ: это могут быть как заповедники и непрофильные заказники, так и ранее упомянутые энтомологические микрозаказники (Иванов и др., 2023). При постановке на уровне района задачи по сохранению определённых групп опылителей на территориях ООПТ помимо пассивного сохранения мест гнездования могут быть применены специальные биотехнологические меры, направленные на сохранение и увеличение популяций диких пчел. Поддержка администрации необходима и для стимулирования практики создания микрозаказников на землях, принадлежащих сельскохозяйственным предприятиям разных организационных форм.

2.3. Проблема забрасывания сельхозугодий в контексте управления экосистемной услугой опыления

Эффективным инструментом поддержания популяции диких пчёл в агроландшафте (раздел 2.2) считается организация энтомологических микрозаказников, которые послужат источниками распространения опылителей по территории (Govorushko, Nowicki, 2019; Комаров, Комарова, 2021). Как отмечается в литературе, охрана диких опылителей может успешно осуществляться на небольших по площади ООПТ – от 5–10 га и менее (Гребенников, 1984; Березин и др., 1987; Скалон и др., 2015). При этом потеря пахотной площади хозяйства, связанная с организацией заказников, вполне может быть компенсирована повышением урожайности прилегающих к заказникам полей с энтомофильными культурами (Мадебейкин, 2004; Ченикалова, 2005).

Однако ограничением при создании экологического каркаса в границах хозяйства выступает необходимость его встраивания в уже существующую пространственную структуру (Колбовский, 2008), вследствие чего резервирование участков под микрозаказники может быть затруднено. Для решения этой проблемы целесообразно рассмотреть возможность использования необрабатываемых

участков пашни (при их наличии) в качестве микрозаказников с уже сформированным фитоценозом и доступными местами гнездования диких пчел.

Исследования трансформации земельного покрова показывают, что в период 1992–2020 гг. в лесной зоне умеренного пояса, в частности на европейской территории России, наблюдалось два разнонаправленных процесса изменения земельного покрова: с одной стороны, лесовосстановление на бывших сельскохозяйственных угодьях и участках с травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, а с другой – распашка территорий, занятых древесной растительностью (Третьяченко и др., 2025). Более того, массовое выбытие из оборота пахотных земель и последующее их вторичное освоение – это отчетливая тенденция в сельскохозяйственном землепользовании на всей территории России с начала 1990-х гг. (рис. 2.5). Масштабный вывод сельхозугодий из оборота, сформированный целым комплексом экономических, социальных и организационно-правовых причин, пришелся на период 1990–2010 г. (Люри и др., 2010). В разных регионах России, отличающихся по агроклиматическим условиям, интенсивность действия кризисных факторов была неодинакова, и процесс выбытия земель из оборота в целом по стране проходил неравномерно (Мухин, 2012). Наибольшее уменьшение посевных площадей было характерно для Нечерноземья (Нефедова, 2017).

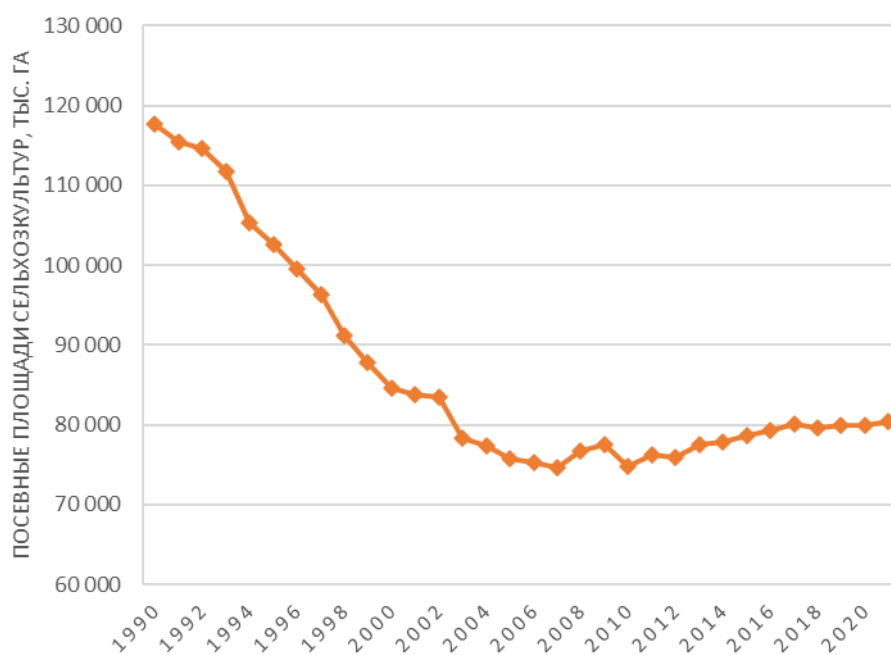


Рисунок 2.5 – Динамика посевных площадей России (без учета республики Крым и Севастополя) 1990–2021 гг. (Источник данных: Официальный интернет-ресурс ЕМИСС Государственная статистика [ЕМИСС](https://emiss.gosstat.gov.ru/), дата обращения 13.11.2025)

После 2002 г. среднегодовой темп сокращения посевных площадей начал снижаться, а с 2010 г. общая площадь пахотных земель стала расти (Сорокина и др., 2016) во многом благодаря поддержке региональных и муниципальных программ по развитию сельского хозяйства.

Очевидно, что выход из оборота сельскохозяйственных угодий в таких масштабах имеет негативные социальные и экономические последствия. С другой стороны, из оборота в первую очередь выпадают земельные участки, использование которых малорентабельно – малоплодородные, требующие значительных вложений в устранение деградации и удаленные от населенных пунктов (Романенко, 2008). Альтернативное использование этих земель может оказаться более выгодным как с экономических, так и с экологических позиций.

При выводе сельскохозяйственных угодий из оборота на них запускаются сукцессионные процессы восстановления зональных типов экосистем. Основные закономерности развития постагрогенных сукцессий, а именно – набор и количество стадий, скорость их смен и тип финальной стадии, в значительной мере определяются двумя факторами – зональной локализацией заброшенных пахотных земель и характером почв. Все постагрогенные сукцессии лесной зоны России имеют одинаковое количество и одну и ту же последовательность сходных по типу серийных стадий (Люри и др., 2010; рис. 2.6).

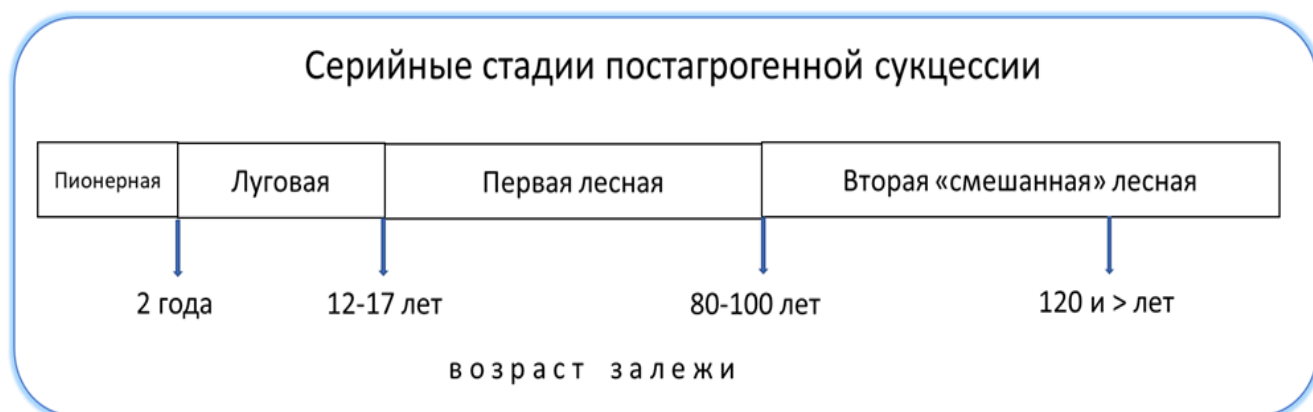


Рисунок 2.6 – Примерная продолжительность серийных стадий постагрогенных сукцессии в лесной зоне (Люри и др., 2010)

Ниже приведено описание каждой из этих стадий (по Люри и др., 2010) и их характеристика с точки зрения доступности гнездовых и кормовых ресурсов для диких пчел-опылителей агроценозов:

2. **Рудеральная стадия** – виды, не свойственные естественному для данных почвенно-климатических условий типу растительности, но быстро внедряющиеся на территорию с нарушенным растительным покровом. Цветущие рудеральные растения (напр., осот, одуванчик, сурепка), как правило, имеют широкий круг опылителей и представляют собой важный ресурс питания антофильных насекомых (Хвир, 2011).
3. **Луговая стадия** с параллельным внедрением в фитоценоз древесных видов. Хотя преобладающим типом растительности на залежах, находящихся на луговой стадии сукцессии, являются анемофильные злаки, среди видов, составляющих луговой фитоценоз, как правило, много обильно цветущих растений, в том числе сохранившихся с рудеральной стадии (сурепка, клевер красный, люпин, сныть). Они образуют естественный нектарно-пыльцевой конвейер. Ненарушенные выпасом постагрогенные луга становятся удобным местообитанием для опылителей: в частности, для шмелей, которые гнездятся в наземных и подземных полостях, и одиночных пчел, гнездящихся в полых стеблях (Anpilogova, Pakina, 2022).
4. **Первая лесная стадия (мелколиственная)**, в зависимости от типа почв сформированная мелколиственными лесами – березняками и осинниками (рис. 2.6). Фитоценозы на данной стадии характеризуются небольшой сомкнутостью крон и сравнительно высоким проективным покрытием энтомофильного травостоя. Наличие деревьев создает дополнительные возможности для гнездования диких пчел.
5. **Вторая лесная стадия**, во время которой происходит внедрение ключевого древесного вида и постепенное вытеснение им предшественника. Медопродуктивность этой стадии зависит от природной зоны, где они расположены. Высокой продуктивностью пыльцы и нектара характеризуются смешанные и особенно широколиственные леса (Гаева,

2015), которые на залежах подзоны широколиственных лесов и северной лесостепи, как правило, сформироваться не успевают.



Рисунок 2.6 – Молодой березняк, формирующийся на необрабатываемом поле в подзоне широколиственных лесов (Московская область, Каширский район)

Таким образом, залежные экосистемы всех стадий постагрогенной сукцессии, за исключением темнохвойных лесов, представляют собой пригодные местообитания для диких пчел. Используя существующие методики оценки экосистемной услуги опыления, можно выделить внутри хозяйства участки залежных земель, сохранение которых способствует повышению обилия опылителей на полях с энтомофильными культурами. По инициативе землепользователя выбранные залежи могут быть закреплены землеустройством на муниципальном или региональном уровне в качестве ценных земельных участков.

Проведенный в главе анализ позволяет заключить, что оценка и управление экосистемной услугой опыления сельскохозяйственных угодий, занятых энтомофильными культурами, должны базироваться на положении о формировании данной услуги не в границах отдельных полей, а за счет латеральных связей между смежными пространственными единицами в структуре агроландшафта. Обзор литературы свидетельствует о целесообразности учета и управления этой услугой на двух взаимосвязанных пространственных уровнях с

применением дифференцированных подходов. Следовательно, основным инструментом количественной оценки состояния опыления и прогнозирования его динамики при различных сценариях землепользования выступает пространственное моделирование. Особую значимость такой подход приобретает в контексте проблемы забрасывания сельскохозяйственных угодий, поскольку позволяет оценить экологический потенциал залежных земель как резервуаров, поддерживающих популяции опылителей.

ГЛАВА 3. ВЕНЁВСКИЙ РАЙОН ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ: ХАРАКТЕРИСТИКА

Тульская область располагается в центре Русской равнины, занимая северо-восточную часть Среднерусской возвышенности. С позиций геоморфологического районирования, данная территория представляет собой доледниковую эрозионную равнину, плащеобразно перекрытую днепровской мореной и покровными суглинками и подвергшуюся последующему расчленению (Схематическая карта..., 1963). По территории Тульской области проходит граница двух природных зон – лесной (подзона широколиственных лесов) и лесостепной, что обуславливает разнообразие и мозаичность почвенно-растительного покрова (Костовска, 2003).

Тульская область включает в себя 22 муниципальных района и 2 города областного подчинения – г. Тула и г. Донской (Закон Тульской обл. № 954-ЗТО, 2021). В связи с тем, что учет экосистемных услуг рекомендуется проводить в рамках административно-территориальных единиц (см. раздел 2.3.2), а базовым уровнем государственного управления в сфере сельскохозяйственного землепользования выступают муниципальные районы, в качестве модельной территории для оценки состояния экосистемной функции опыления сельхозугодий представляется обоснованным выбрать один репрезентативный муниципальный район области. Для целей данной работы в качестве объекта исследования выступил Венёвский район – крупнейший по площади район области, по территории которого проходит зональная граница.

3.1. Физико-географические условия

Расположенный в северо-восточной части Тульской области, Венёвский район является крупнейшим в регионе по площади (рис. 3.1). Его территория составляет 1620 км² и простирается с севера на юг на 70 км. На севере и востоке Венёвский район граничит с Московской областью, на юге – с Новомосковским и Киреевским районами Тульской области, на западе – Ясногорским и Ленинским районами Тульской области. В состав

Венёвского района входят 4 муниципальных образования, в том числе 1 городское (город Венёв) и 3 сельских поселения – Мордвесское, Центральное и Грицовское (Закон Тульской области № 2092-ЗТО от 1 апреля 2014 г.).

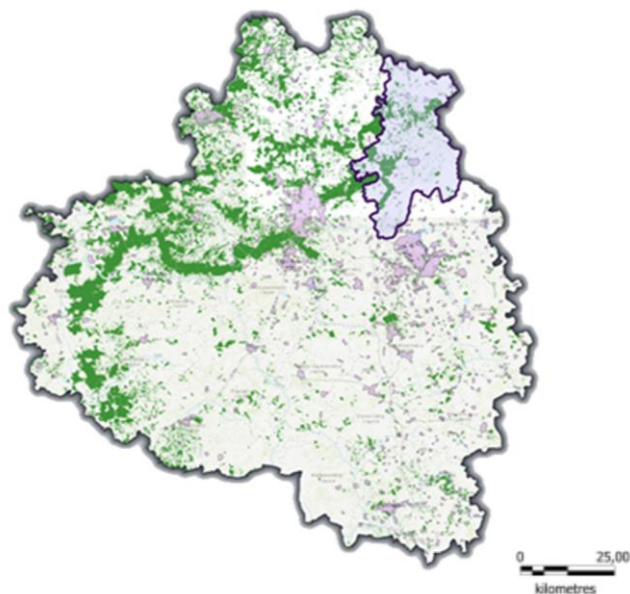


Рисунок 3.1 – Расположение Венёвского района на карте Тульской области
(выполнено в QGIS)

Район находится на пересечении двух природных зон – лесной (подзона широколиственных лесов) и лесостепной (Гвоздецкий, Жучкова, 1963). Зональная граница пересекает район в северо-восточном направлении, в восточной части она проходит вдоль русла р. Осетр от места впадения в нее р. Венёвка (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Зональная граница на карте Венёвского района
(приводится по Гвоздецкий, Жучкова, 1963)

Согласно карте восстановленного растительного покрова данной территории (Алехин, 1934), именно по этой линии ранее проходило разделение между областью широколиственных лесов и северным вариантом луговых степей. Вместе с тем данные почвенной карты Венёвского района (рис. 3.3) указывают на то, что растительность – как фактор почвообразования – была представлена чередованием лесных и лугово-степных комплексов. В связи с этим ряд авторов относят подзону широколиственных лесов к лесостепной зоне (например, Мильков, 1957; Нестеров, Федотов, 2005). Тем не менее, поскольку большинство современных исследователей опирается на указанную на рис. 3.2. границу (см., напр.: Костовска, 2003; Национальный атлас России, 2004), в настоящей работе мы также придерживаемся данного зонального разделения.

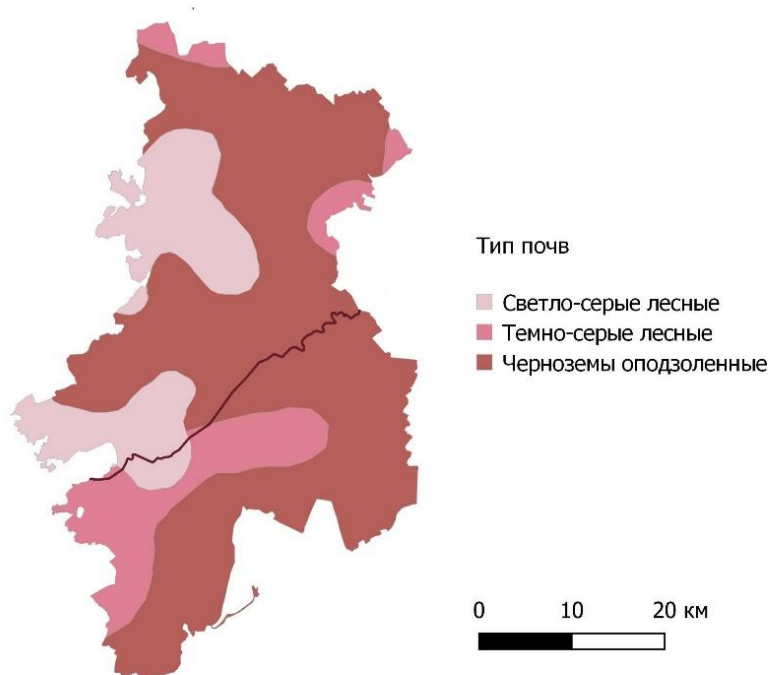


Рисунок 3.3 – Почвенная карта Венёвского района
(Национальный атлас почв..., 2011)

По почвенно-географическому районированию (Добровольский, Урусевская, 2004) территория района относится к Окско-Донской провинции зоны серых лесных почв, оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов лесостепи.

Согласно физико-географическому районированию Нечерноземного центра России (Гвоздецкий, Жучкова, 1963), территория Венёвского района преимущественно расположена в пределах двух физико-географических районов: Осетро-Истинского района Среднерусской провинции широколиственных лесов в северной части и Осетро-Пронского района Лесостепной провинции Среднерусской возвышенности в южной части. Граница между районами совпадает с зональной границей (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Физико-географическое районирование Венёвского района (по Федотов, Васильев, 1979). 1 – Осетро-Истинский район, 2 – Осетро-Пронский район, 3 – Доно-Тобольский район

Осетро-Истинский район (1 на рис. 3.4) расположен в восточной части Среднерусской провинции широколиственных лесов в бассейне р. Оки. В пределах рассматриваемой территории представлена западная часть района, выделяемая некоторыми авторами в отдельный подрайон – Осетро-Смедовский оползневый крупнохолмистый (Федотов, Васильев, 1979). Основными рельефообразующими породами района являются палеозойские известняки, перекрытые толщей песчано-глинистых отложений. На междуречьях и пологих склонах коренные породы перекрыты чехлом лессовидных отложений мощностью до нескольких метров.

Рельеф территории представляет собой пологоволнистую равнину, расчленённую долинами рек, балками и оврагами. Район характеризуется густым эрозионным расчленением – 1,5 км/км². Придолинные и прибалочные склоны Осетра и Смедвы изрезаны оврагами со сложным поперечным профилем, глубина которых достигает 40 м. Узкие (0,2–0,9 км) и глубокие (до 30 м) долины малых рек отличаются разнородным составом речных отложений в пределах пойм и террас. На междуречьях пологоволнистые пространства чередуются с крупнохолмистыми; крутизна склонов холмов достигает 2,5–4°. Высотные отметки водоразделов достигают 240 м, уменьшаясь с юго-запада на северо-восток.

В Осетро-Смедовском физико-географическом районе представлены плакорный, останцово-водораздельный, склоновый, надпойменно-террасовый и пойменный типы местности.

Климат Осетро-Смедовского района относится к умеренно континентальному типу с умеренно холодной зимой и тёплым летом. Среднегодовая температура воздуха составляет 3,8–4,2 °С, января – минус 10,1–10,8 °С, июля – 18,0–18,4 °С. Гидротермический коэффициент Селянинова снижается с 1,43 на севере до 1,34 на юге. Сумма активных температур – 2055°С. Среднегодовое количество осадков варьирует в пределах 530–544 мм, причём 70 % выпадает в тёплый период. Зимние осадки отличаются меньшей интенсивностью, но большей продолжительностью. Продолжительность залегания снежного покрова составляет 130 дней, безморозного периода – 170 дней. Устойчивый снежный покров формируется в конце ноября, достигая максимальной мощности к концу февраля; его средняя высота изменяется от 50–60 см на защищённых участках до 35–45 см на открытых. Глубина промерзания почвы достигает 120–140 см (Федотов, Васильев, 1979).

Гидрографическая сеть в границах исследуемой территории представлена преимущественно рекой Осётр с её притоками; здесь же находится исток реки Смедвы. Густота речной сети составляет 0,43 км/км². Питание рек преимущественно снеговое, при значительном участии дождевого и подземного. Гидрологический режим отличается выраженным весенним половодьем, на

которое приходится до 80% годового стока. Развитая гидрографическая сеть в сочетании с широким распространением водопроницаемых пород не создаёт условий для активного заболачивания территории (Национальный атлас почв..., 2011).

Неоднородный характер почвенного покрова Осетро-Смедовского района определен мозаичной структурой естественной растительности. В почвенном покрове района представлены различные подтипы серых лесных почв (светло-серые лесные, серые лесные и тёмно-серые лесные), сформировавшиеся под широколиственными лесами с господством дуба и липы, с кустарниковым подлеском и густым травостоем, а также оподзоленные черноземы (Национальный атлас почв ..., 2011). Почвообразующие породы – слабокарбонатные лессовидные суглинки (Карта почвообразующих пород Европейской части СССР, 1968). Водный режим почв – периодически промывной. Строение профиля серых лесных почв отражает сочетание элювиально-иллювиальной дифференциации и активного гумусонакопления: мощность гумусового горизонта составляет 30–40 см (Научно-прикладной справочник ..., 2015).

Современная растительность представлена фрагментами широколиственных лесов (остатки засечной черты), сельскохозяйственными землями, залежами разного возраста, мелколиственными лесополосами.

Осетро-Пронский район (2 на рис. 3.4) расположен к югу от Осетро-Смедовского в междуречьи Осетра и Прони. Четвертичные отложения района представлены сильно размытой днепровской мореной, перекрытой покровными лессовидными карбонатными суглинками на междуречьях и делювиальными суглинками на крутых склонах долин и балок (Гвоздецкий, Жучкова, 1963).

Район также характеризуется эрозионным рельефом. Однако широкое развитие волнистых и местами плоских междуречий определяет меньшую расчлененность рельефа Осетро-Пронского района по сравнению с граничащим с ним с севера Осетро-Истьянском районом. Придолинные части междуречий и склонов так же расчленены более слабо (Гвоздецкий, Жучкова, 1963). Наименьшие абсолютные отметки, 143 м. приурочены к урезу р. Осётр в районе впадения р.

Венёвки. Высота волнистых междуречий убывает с 230 до 200 м. в северо-восточном направлении.

Хотя Среднерусская провинция лесостепи характеризуется более высокими температурами и меньшей увлажненностью, чем Среднерусская провинция широколиственных лесов, близость и небольшие размеры рассматриваемых районов определяют схожесть климатических показателей. Для района характерен умеренно-континентальный климат. Средняя температура января $-10,9^{\circ}$, а июля $+18,1^{\circ}$. Средняя годовая температура воздуха $+3,6^{\circ}$. Гидротермический коэффициент варьируется с 1,46 до 1,39. Суммарное годовое количество осадков достигает 539–543 мм, сумма активных температур – 2250° С.

Речная сеть района в пределах Венёвского района представлена малыми реками Окского речного бассейна – Венёвка (приток Осетра), Шатец. Густота речной сети составляет 0,4 км/км².

Преобладающими почвами района в пределах южной части Венёвского района являются черноземы оподзоленные, сформировавшиеся под травянистой растительностью луговых степей, и темно-серые лесные почвы со значительными запасами гумуса и минеральных питательных веществ (Национальный атлас почв РФ, 2011).

Региональная растительность – луговые степи, участки широколиственных и мягколиственных лесов, пашни, залежи различного возраста, лесополосы.

Кроме охарактеризованных выше физико-географических районов на территории представлен **Доно-Тобольский район Лесостепной провинции Среднерусской возвышенности** (3 на рис. 3.4). Он занимает очень небольшую территорию на самом юге Венёвского района, и его вклад в формирование физико-географических условий территории исследования незначителен.

3.2. Социально-экономическое положение

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики по Тульской области, численность населения округа на 01.01.2023 составляла 34066 человек. Прирост населения по сравнению с 2020 г. – 11,5%. В структуре расселения сохраняется преобладание сельского компонента: доля жителей,

проживающих в сельской местности, составляет 55,5% от общей численности населения округа, что определяет специфику социально-экономического развития территории.

По характеру хозяйственной деятельности Венёвский район относится к промышленно-аграрным. Приоритетные отрасли промышленности – производство целлюлозы, бумаги и картона, электроэнергии, газа и воды, добыча полезных ископаемых (щебень, природные пески), а также производство продуктов питания (Итоги социально-экономического развития..., 2024). Отдельного внимания заслуживает Венёвский маслозавод (принадлежит ООО «Кубаньмасло-ЕМЗ») – предприятие по переработке масличных культур, специализирующееся на производстве растительных масел; основным сырьем для его работы выступают семена рапса.

Венёвский район входит в зону ведения интенсивного сельского хозяйства без ограничений, поскольку не относится к территории Тульской области, подвергшейся воздействию ЧАЭС. В агропромышленном комплексе Венёвского района в сфере сельского хозяйства работает 98 организация всех форм собственности, 82 предприятий занимаются растениеводством, 13 предприятий – животноводством. На территории района размещено 9292 личных подсобных хозяйства. В структуре сельского хозяйства преобладает отрасль растениеводства, доля продукции которой составляет 67,5% (Итоги социально-экономического развития..., 2024).

3.3. Сельскохозяйственное использование земель

Структура земельных угодий Венёвского района представлена на рисунке 3.5. Основную долю (71,9%) составляют земли сельхозназначения, они занимают 116,5 тыс. га, что связано с растениеводческой специализацией района. Земли населенных пунктов занимают 11,7 тыс. га – 7,2 % от общей площади района: это территория центра муниципального образования – г. Венёв (площадь 9,5 км²), в окрестностях которого расположены основные промышленные предприятия, и 209 сельских населенных пунктов, самым крупным из которых является поселок Мордвес (население – ок. 1500 чел., площадь – 1,1 км²).

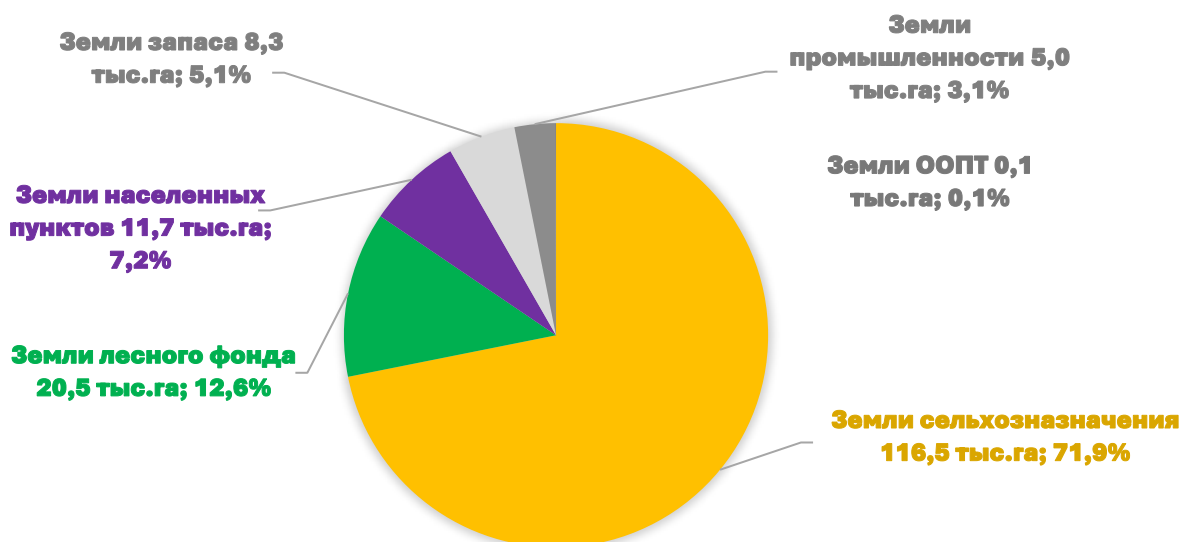


Рисунок 3.5 – Структура земельных угодий Венёвского района, 2023

(Региональный доклад..., 2024)

Земли лесного фонда в границах Венёвского района, относящиеся к Венёвскому лесничеству, занимают 12,6% его общей площади. Согласно лесорастительному районированию, территория расположена в зоне хвойно-широколиственных лесов (Лесной план Тульской области, 2015). Относительно низкая лесистость района обусловлена длительной интенсивной хозяйственной деятельностью. Карта-схема распределения лесного фонда, представленная в Приложении I, позволяет выделить два основных элемента его пространственной структуры: фрагментированный пояс противоэрозионных мелколиственных лесов, пересекающий центральную часть района, и крупный вытянутый с севера на юг широколиственный массив площадью 113 км², частично расположенный в лесостепной зоне (рис. 3.6). Этот массив является частью северо-восточного участка Тульских засек, который в силу исторических причин никогда не подвергался распашке, что обеспечило сохранение многих типичных для широколиственных лесов видов травянистых растений (Лялин, 1954). Благодаря этой особенности данный лесной массив был отнесен к лесам, имеющим научное и историко-культурное значение (Материалы Венёвского лесничества, 2021, Приложение 1).

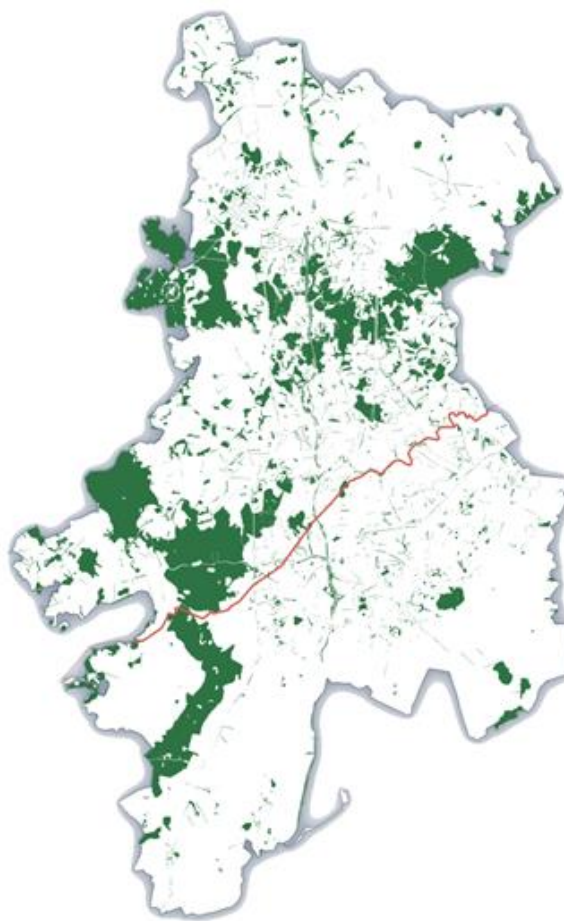


Рисунок 3.6 – Древесная растительность на карте Венёвского района (отражены как земли лесного фонда, так и полезащитные лесонасаждения и участки молодого леса, сформировавшиеся на заброшенных сельхозугодьях)

Площадь сельскохозяйственных угодий Венёвского района превышает 97,7 тыс. га, что составляет 60% от его общей территории. В этот показатель включены земли сельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей (Региональный доклад..., 2024). Суммарная площадь личных подсобных хозяйств в сельских населенных пунктах района достигает 1227,5 га.

Основным типом сельскохозяйственных угодий в районе является пашня, доля которой в общей структуре достигает 92,4% (с учётом фактически неиспользуемых земель). Земли, отраженные в статистической отчетности в категории «Пары и залежи», занимают площадь 1612 га (2,4% от всех сельхозугодий). Площадь пастбищ составляет 2 278 га, это 2,3% от общей площади сельхозугодий. Совокупная площадь сенокосов и многолетних насаждений

(включая заброшенные сады) организаций и фермерских хозяйств не превышает 1% от общей площади сельхозугодий (Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи..., 2022).

Площадь пахотных угодий в Венёвском муниципальном районе составляет 90,3 тыс. га. В последнее десятилетие наблюдается тенденция увеличения посевных площадей за счёт возвращения в оборот заброшенных сельхозугодий (рис. 3.7). В первую очередь в обработку вовлекаются ранее заброшенные земли, расположенные в лесостепной части района на более плодородных оподзоленных чернозёмах. В 2023 г. посевные площади достигли 49,3 тыс. га, а доля необрабатываемых земель, таким образом, составила 45%. Существование заброшенных сельскохозяйственных земель признаётся одной из актуальных проблем аграрного сектора Тульской области (Региональный доклад..., 2024).

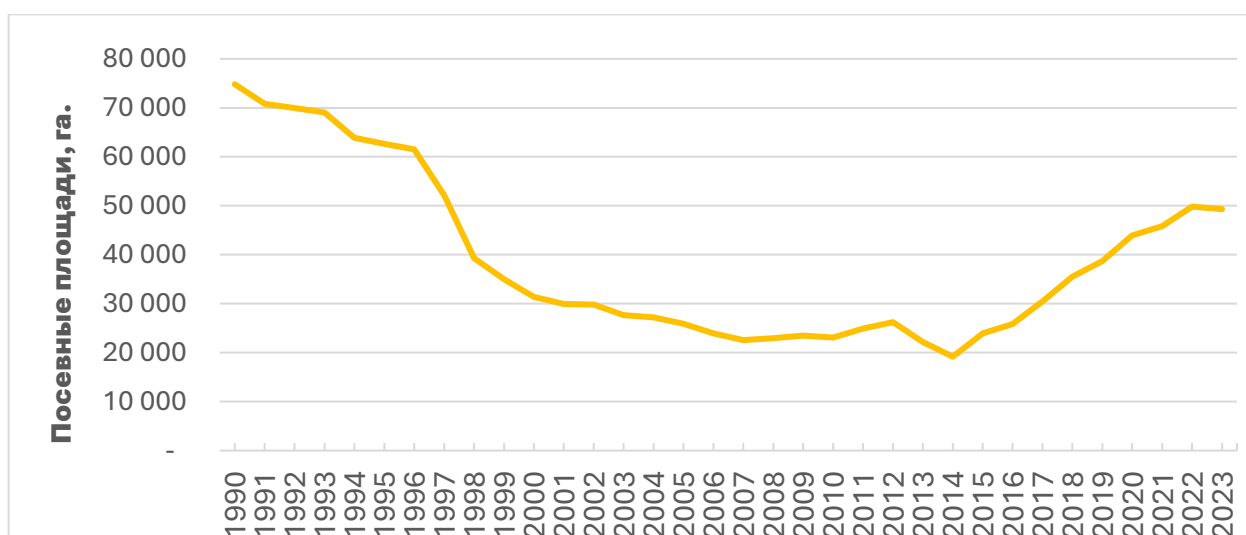


Рисунок 3.7 – Динамика посевных площадей Венёвского района, га. 2012–2023 гг.

(Источник данных: Официальный интернет-ресурс ЕМИСС Государственная статистика ЕМИСС, дата обращения 13.11.2025)

В таблице 3.1 представлено распределение посевных площадей сельскохозяйственных организаций и фермерских хозяйств по видам возделываемых культур. Наибольшую долю в общей структуре посевов – 58% – занимают зерновые культуры, среди которых преобладают озимая и яровая пшеница (рис. 3.8). Технические



Рисунок 3.8 – Пшеничное поле (июль 2022)

культуры, в основном представленные яровым рапсом, занимают 20,5% посевных площадей.

Таблица 3.1 – Структура посевных площадей под урожай 2021 г.

	га	%
Общая посевная площадь	45 828,1	
Зерновые и зернобобовые	27 391,0	59,8%
Пшеница	20 996,6	45,8%
Ячмень	4 576,1	10,0%
Овес	799,0	1,7%
Гречиха	109,0	0,2%
Кукуруза на зерно	118,0	0,3%
Зернобобовые	792,3	1,7%
Технические культуры	9 395,7	20,5%
Соя	399,1	0,9%
Рапс	8 396,6	18,3%
Картофель	2 215,0	4,8%
Овощи открытого грунта	85,0	0,2%
Кормовые культуры	5 640,4	12,3%
Многолетние насаждения	1,0	0,0%
Пары	1100	2,4%

Источник: Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи..., 2022

Высокая доля кормовых севооборотов с преобладанием многолетних трав обусловлена сравнительно большим, по сравнению с другими районами Тульской области, поголовьем крупного рогатого скота в фермерских хозяйствах Венёвского района (Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи..., 2022). В свою очередь, многолетние плодовые насаждения находятся в заброшенном состоянии и

фактически превратились в залежи на первой лесной стадии постагрогенной сукцессии.

Анализ структуры посевных площадей позволяет выявить значительную долю энтомофильных культур. Среди зерновых их представленность невелика, однако посевы гречихи, урожайность которой напрямую зависит от насекомых-опылителей (Ефименко, 1990; Филин, Егорова, 2013), демонстрируют в Венёвском районе положительную динамику. Так, в 2022 г. площади под этой культурой увеличились на 50% по сравнению с показателем предыдущего года, а к 2023 г. выросли еще на 13%.

Исходя из результатов полевого осмотра Венёвского района, в кормовых севооборотах широко представлены многолетние травы, как злаковые, так и бобовые. Среди насекомоопыляемых бобовых культур в составе травосмесей присутствуют луговой и ползучий клевер, люцерна посевная, донник и лядвенец рогатый.

Из технических культур с разным уровнем зависимости от перекрестного опыления на полях произрастают соя, лен-долгунец, сурепица, горчица. Их доля в структуре посевов района невелика. Заметные площади занимает только соя (табл. 3.2). К 2023 г. площадь ее посевов увеличилась до 752 га. (Итоги социально-экономического развития..., 2024). Однако, литературные относительно изменения урожайности сои вследствие перекрестного опыления пчелами противоречивы (Зеленцов, Мошненко, 2019).

Особого внимания заслуживает такая масличная культура, как рапс (*Brassica napus*), занимающая более 18% посевных площадей Венёвского района (рис. 3.9). Согласно наблюдениям автора в 2021–2024 гг., в севооборотах Венёвского района рапс размещался после озимых и яровых зерновых культур – пшеницы и

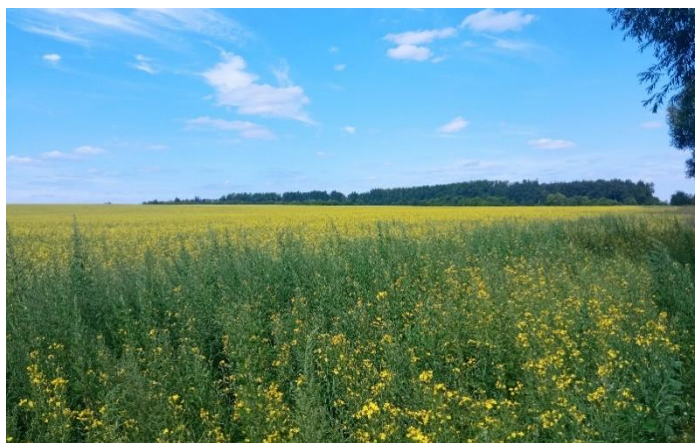


Рисунок 3.9 – Рапс в фазе полного цветения.
(август 2022 г.)

ячменя. В 2015 г. Тульская область заняла 2-е место среди регионов России по производству семян озимого и ярового рапса. Посевные площади рапса в регионе ежегодно увеличиваются, что обусловлено высокой рентабельностью данной культуры (Макаренко, 2016), а также стимулирующими мерами со стороны переработчиков семян рапса, направленными на локализацию производителей сырья на территории Тульской области. Так, в 2006 г. доля рапса в общей посевной площади сельскохозяйственных организаций составляла 5,5%, в 2016 г. она возросла до 14,9%, а к 2021 г. достигла 19,7% (Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи..., 2022). В фермерских хозяйствах также наблюдается тенденция к увеличению площадей под рапсом. Всего в Центральном федеральном округе насчитывается четыре предприятия по переработке семян рапса, и два из них – Ефремовский и Венёвский маслозаводы – располагаются в Тульской области. Сложившаяся локальная сеть поставщиков сырья способствует существенному снижению логистических издержек (Вестник АПК, 2016).

Рапс относится к культурам со смешанным типом опыления, выступая факультативным самоопылителем. Морфологическое строение цветков рапса обеспечивает возможность как самоопыления, так и перекрестного опыления. Ярко-желтые цветки, собранные в соцветия-кисти, издали

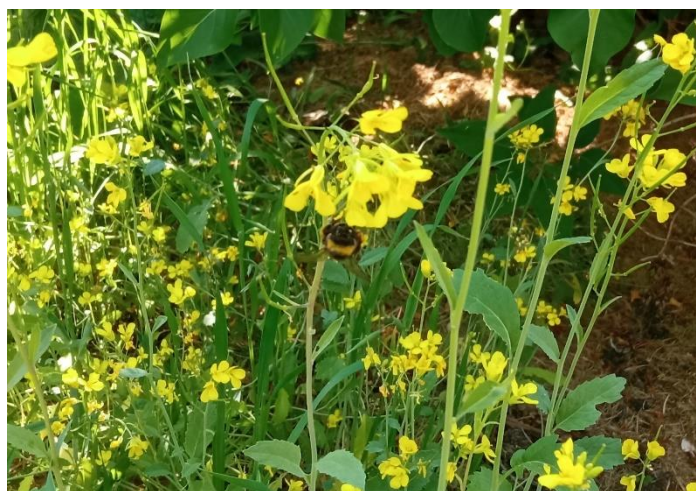


Рисунок 3.10 – Шмель норовой (*Bombus lucorum*) на цветке рапса (июнь 2023)

привлекают насекомых (Корпачев, 2008). Доля перекрестного опыления у рапса зависит от сорта и достигает 41,3% (Кравцов, 1985). На посевах рапса отмечается более 50 видов насекомых: доминантными группами опылителей являются пчёлы (42,5%, 34,5% – дикие одиночные виды) и двукрылые (34,6%) (Наумкин, Мазалов, 2016). Высокая посещаемость рапса перепончатокрылыми и двукрылыми отмечена

и наблюдениями автора (рис. 3.10). Стоит отметить, что цветки рапса посещаются всеми группами пчел: медоносными, шмелями и одиночными пчелами.

В литературе отмечается, что самоопыление рапса в чистом виде имеет вынужденный характер и служит для закрепления в потомстве результатов перекрестного опыления. При этом наибольший опылительный эффект дает сочетание самоопыления с перекрестным опылением, в первую очередь пчелами, принадлежащими к различным семействам (Иванов и др., 1991). Результаты исследований показывают, что пчелы могут увеличить урожайность семян рапса с одного растения от 18 % до более чем 50 % (напр., Oz et al, 2008, Hudewenz et al, 2014).

Насекомоопыляемые культуры произрастают не только на землях сельскохозяйственных организаций и фермерских хозяйств, но и в личных подсобных хозяйствах. На землях сельских населённых пунктов в открытом грунте выращиваются огурцы, помидоры, кабачки, патиссоны, тыквы, а также требующие перекрёстного опыления насекомыми бобовые и плодово-ягодные культуры (Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи..., 2022).

3.4. Состояние пчеловодства

В контексте опыления энтомофильных культур необходимо рассмотреть состояние пчеловодства в Тульской области и, в частности, в Венёвском районе. По данным Росстата, в 2021 г. регион занимал 19-е место среди субъектов РФ по производству мёда. Природно-климатические условия Тульской области создают благоприятные предпосылки для развития в регионе пчеловодства. На территориях, прилегающих к широколиственным лесным массивам с участием липы и клена, прибрежной древесной растительности, на лугах, залежах и посевах многолетних трав имеется хорошая база для пчеловодства. Кроме того, в 2026 г. в регионе, в том числе на территории Венёвского района, планируется введение практики передачи лесных участков для организации пчеловодства (Лесной план Тульской области, 2021).

В Тульской области основная доля пчелиных семейств содержится в личных подсобных хозяйствах граждан сельских населенных пунктов, а также на участках для индивидуального жилищного строительства (рис 3.11).



Согласно результатам Рисунок 3.11 – Медоносная пчела (*Apis mellifera*) на цветке огурца (*Cucumis sativus*) (Июль 2024) сельскохозяйственных

переписей (табл. 3.2), количество семей медоносных пчёл в регионе снизилось в период с 2006 по 2016 гг., однако к 2021 г. выросло на 25%. Данные в разрезе муниципальных районов недоступны. Необходимо отметить, что общее количество пчелосемей в Тульской области по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Тульской области (Туластат <https://71.rosstat.gov.ru/>) ниже показателей, зафиксированных в ходе сельскохозяйственных переписей. Согласно информации Туластата, по состоянию на конец 2023 г. в Тульской области насчитывалось 22,7 тыс. пчелиных семей, что на 12% превышает показатель конца 2022 г. Наблюдаемое расхождение, вероятно, обусловлено различиями в методологии расчета статистических данных.

Таблица 3.2 – Количество семей пчёл медоносных, Тульская область

	2006	2016	2021
Общее число семей, тыс.	36,8	31,6	39,7
Число семей в хозяйствах населения, тыс.	34,4	29,7	38,2

Составлено автором на основе официальных данных сельскохозяйственных переписей (2008, 2018) и микропереписи 2022 г.

Несмотря на расхождения в статистических данных, можно констатировать недостаточность имеющегося количества семей медоносных пчёл для обеспечения полноценного опыления энтомофильных культур в Тульской области (рис. 3.12). Согласно данным Росстата, площадь посевов озимого и ярового рапса в регионе составляет 115,2 тыс. га. При установленной норме для эффективного опыления данной культуры 1–2 пчелиные семьи на 1 га (Приказ Минсельхоза России, 2016), фактическая обеспеченность рапса опылением медоносными пчелами в Тульской области не превышает 50% от минимально необходимого уровня. При этом приведенная оценка не учитывает потребности в опылении других энтомофильных культур, возделываемых в регионе.



Рисунок 3.12 – Медоносные пчёлы на посевах рапса (июль 2023)

Основной угрозой для отрасли пчеловодства в Тульской области является обработка культур на полях в фазе цветения химических средств защиты. Так, по сообщениям в прессе, в 2019 г. на территории региона, в том числе в Венёвском районе, наблюдалась массовая гибель пчёл. Как и в других регионах страны, она была связана с применением на рапсовых полях инсектицидов с высокой категорией риска, преимущественно неоникотиноидов (Ефименко и др., 2023).

Восстановление и рост количества семей медоносных пчёл к моменту Сельскохозяйственной микропереписи 2021 г., по всей вероятности, связаны с выделением дополнительных бюджетных средств на поддержку пчеловодства и принятием в 2019 г. Закона Тульской области «О регулировании отдельных отношений в области пчеловодства на территории Тульской области и государственной поддержке пчеловодства в Тульской области». Данный закон обязывает руководителей сельхозпредприятий соблюдать регламенты по применению пестицидов с учётом класса опасности для людей и класса опасности

для пчел, а также информировать через средства массовой информации население и пчеловодов о запланированных работах по применению на полях пестицидов и агрохимикатов.

Однако несмотря на принятие данного закона, сообщения о гибели посещавших рапсовые поля пчёл в Венёвском районе, продолжают поступать (Максимова, 2023). Посевы рапса, как уже было отмечено, постоянно наращиваются, и при этом агротехника этой культуры требует применения сильных средств защиты от вредителей – цветоеда, рапсовой моли и др. (Корпачев, 2008), сохраняется риск не только для медоносных пчёл, но и для диких опылителей, которых невозможно изолировать от контакта с обработанными полями.

Помимо рисков, связанных с применением пестицидов, существует еще один фактор, влияющий на состояние пчеловодства в таких сельскохозяйственных регионах как Венёвский район. Оптовые цены на мёд, собранный с сельскохозяйственных культур, таких как рапс и подсолнечник, в несколько раз меньше, чем липовый или гречишный (Максимова, 2021). Быстро кристаллизирующийся рапсовый мёд не пользуется спросом со стороны покупателей, в первую очередь кондитерских предприятий. Таким образом, производителям мёда выгоднее перемещать ульи к широколиственным лесным массивам или цветущему разнотравью, чем оставлять их вблизи рапсовых полей, привлекательных для пчёл в период массового цветения рапса.

Проведенный анализ физико-географических и социально-экономических условий Венёвского района позволяет заключить, что его почвенно-климатический потенциал закономерно предопределил сложившуюся растениеводческую специализацию территории. Поскольку значительную долю в структуре посевных площадей занимают энтомофильные культуры, вопрос обеспечения полей и приусадебных участков экосистемной услугой опыления приобретает особую актуальность. При этом потребность возделываемых на территории района энтомофильных культур в опылении не может быть полностью удовлетворена за счёт домашних медоносных пчёл, что обусловлено, во-первых, недостаточным

количеством пчелиных семей, а во-вторых, несоответствием опыления основной энтомофильной культуры – рапса – экономическим интересам местных пчеловодов. Совокупность перечисленных факторов указывает на ключевую роль диких насекомых-опылителей в поддержании продуктивности агроценозов района.

ГЛАВА 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Методологическая основа

Для достижения цели, поставленной в рамках настоящего исследования, необходимо выбрать подходящую методологическую основу и адаптировать её с учётом поставленных задач. Для оценки зависимости состояния экосистемной функции опыления энтомофильных культурных растений от управления землепользованием на разных пространственных уровнях необходима методика, позволяющая максимально учесть факторы численности диких насекомых-опылителей, поддающиеся управлению либо на уровне отдельных хозяйств, либо на муниципальном уровне. При этом неуправляемые факторы (преимущественно климатические) должны быть зафиксированы как константы. Это возможно на территориях, примерно однородных по природным условиям. Поэтому для решения поставленных задач целесообразно использовать моделирование на основе параметров земельного покрова по рассмотренной выше методике Лонсдорфа (раздел 2.1). Данная методика – удобный инструмент сравнительной оценки разных сценариев как внутрихозяйственного, так и муниципального землеустройства.

Следует отметить, что существующие методики процессного моделирования экосистемной услуги опыления направлены на оценку мер по организации территорий и не позволяют напрямую учесть влияние мер, входящих в агроценотический блок управления, для точной оценки которых более целесообразно проводить полевые и экспериментальные исследования или использовать агентное моделирование (см. раздел 2.1.). Тем не менее, некоторые факторы из агроценотического блока на крупномасштабном уровне можно опосредованно учесть в модели, загрузив в программу более детализированные данные по типам земельного покрова и адаптировав параметры с учетом доступной информации по неучтенным в анализе факторам.

Дополнительным преимуществом выбора модели Лонсдорфа для данного исследования служит её интеграция в программный пакет InVEST, который

предоставляет инструмент автоматизированной оценки потенциала опыления Crop Pollination, рекомендуемый к широкому применению.

Набор исходных данных для загрузки в программу InVEST Crop Pollination состоит из следующих компонентов:

- **растровая карта земельного покрова** (*Land-cover map*), максимально учитывающая его разнородность;
- **таблица земельного покрова** (*Biophysical Table*), содержащая значимые с точки зрения кормовых и гнездовых ресурсов характеристики классов земельного покрова, представленных в границах агроландшафта;
- **таблица гильдий** (*Guild Table*), отражающая основные особенности обитающих на территории исследования экологических групп пчел.

Подготовленные исходные данные загружаются в программу для расчета **индексов источников опылителей** и **индекса обилия опылителей** и визуализации на карте их распределения на исследуемой территории.

Индекс источников опылителей для пикселя (x) и вида (или гильдии) s вычисляется по формуле (1) (Sharp et al., 2020):

$$PS(x, s) = HN(x, s)FR(x, s)sa(s) \quad (1)$$

где $sa(s)$ – относительное обилие вида (гильдии) s ; $HN(x, s)$ – индекс пригодности пикселя x для гнездования вида (гильдии) s (вычисляется по данным таблицы земельного покрова и гильдий); $FR(x, s)$ – индекс доступных кормовых ресурсов (вычисляется по данным из таблицы земельного покрова).

Индексы $FR(x, s)$ и $HN(x, s)$ вычисляются программой по данным таблицы земельного покрова и таблицы гильдий. Наличие подходящего субстрата для гнездования – необходимое, но недостаточное условие для обитания пчёл на участке. При отсутствии кормовых растений субстрат использован не будет.

Показатель состояния экосистемной услуги опыления – **индекс обилия опылителей** (далее по тексту – **ИОО**) рассчитывается по формуле (2):

$$PA(x, s, j) = \left(\frac{RA(l(x), j) f a(s, j)}{FR(x, s)} \right) \frac{\sum_{x' \in X} PS(x', s) \exp(-D(x, x')/\alpha_s)}{\exp(-D(x, x')/\alpha_s)} \quad (2)$$

где RA – индекс относительного обилия цветочных ресурсов для класса земельного покрова l в сезон j ; PS – индекс источников опылителей (1); FR – индекс кормовых ресурсов для вида (гильдии) s ; fa – показатель фуражировочной активности вида s в сезон j ; $D(x, x')$ – расстояние между пикселями x и x' ; α – средняя дальность полета вида s (м.).

Как показано в ряде исследований (напр., Lonsdorf et al., 2009; Williams et al., 2012), результаты моделирования ИОО характеризуются высокой чувствительностью к значениям параметров, задаваемых в таблицах земельного покрова и гильдий. В связи с этим реализация моделирования потенциала опыления по методике Лонсдорфа в программной среде InVEST Crop Pollination предполагает решение двух основных задач:

- 1) **выделение классов земельного покрова и экологических групп пчел**, дифференцированных в аспекте экосистемной услуги опыления и
- 2) **разработка метода параметризации** этих классов и групп.

4.2. Таблица земельного покрова: выделение классов и их параметризация

Классификация пространственных единиц, расположенных в границах исследуемой территории, для целей оценки экосистемной услуги опыления по методике Лонсдорфа обладает рядом специфических особенностей. Выделение классов земельного покрова должно осуществляться не на основе формальных признаков (напр., кадастровой категории земель), а по функциональному принципу – с учетом потенциала территории в обеспечении двух основных типов ресурсов для пчел-опылителей: субстратов гнездования различных экологических групп пчёл и характеристик цветущей растительности (проективное покрытие, видовое разнообразие, фенологические особенности).

Формирование классов земельного покрова целесообразно осуществлять на основе классификации космических снимков высокого разрешения и данных рекогносцировочных маршрутных исследований модельной территории, проводимых в разные месяцы теплого периода года. Для анализа природных территорий предпочтительным является привлечение материалов геоботанических

исследований, которые позволяют наиболее точно оценить неоднородность и структуру растительного покрова.

По завершении процедуры выделения классов земельного покрова необходимо выполнить их параметризацию: для каждого класса определяются коэффициенты, отражающие среднюю доступность различных типов субстратов гнездования и обеспеченность кормовыми ресурсами в течение целевых интервалов вегетационного периода. В большинстве работ с применением методики Лонсдорфа используются два основных метода присвоения параметров классам земельного покрова: экспертное оценивание (включающее как индивидуальные, так и коллективные оценки) и использование индикаторов, которым присваиваются значения на основе данных полевых исследований модельной территории. Результаты полевой калибровки модели с использованием разных методов параметризации показывают, что метод экспертного оценивания обеспечивает меньшую точность результатов моделирования по сравнению с использованием естественнонаучных показателей, основанных на статистической обработке полевых данных (Groff et al., 2016; Gardner et al., 2020). Обращение к полевым методам параметризации требует выбора количественно оцениваемых индикаторов для каждого параметра.

Параметризация заключается в определении значений следующих коэффициентов таблицы земельного покрова:

- 1) **nesting_[SUBSTRATE]_availability_index** – индекс доступности определенного субстрата гнездования на участках каждого класса земельного покрова. Значение коэффициента выражается в долях единицы. Применительно к условиям средней полосы России целесообразно выделить столбцов для каждого из четырех типов субстратов гнездования диких пчёл (табл. 4.1). В настоящем исследовании оценка доступности различных мест гнездования выполнялась на основе подхода, предложенного Potts et al. (2005), реализация которого требует проведения полевых геоботанических исследований по стандартным методикам (Ярошенко, 1969; Неронов, 2002).

Таблица 4.1 – Методы оценки доступности субстратов гнездования

Субстрат гнездования	Индикатор доступности	Метод оценки	Примечания
CAVITY (гнездование в готовых полостях)	Проективное покрытие травянистой растительности, образующей полые стебли.	Визуальный учет на основе глазомерной оценки на пробных площадях	Наличие других готовых полостей (напр. в стенах домов) диаметром (до 2 см.) может увеличить данный коэффициент.
WOOD (гнездование в мертвой древесине)	Средний объем мертвой древесины. За 0 принимается полное отсутствие, за 1 – стандартный объем для зонального типа лесов (м ³ /га).		Стандартный объем мертвой древесины – по литературным данным (Малышева и др., 2019).
OPENSACE (гнездование на открытых местах или в широких полостях)	Доля ненарушенного напочвенного покрова (в т. ч. покрытого войлоком/ветошью)		Наличие крупных надземных (напр., дупла) или подземных (напр., норы грызунов) полостей (> 2 см) увеличивает данный коэффициент.
GROUND (гнездование в почве)	Доля участков открытой или слабозадернованной почвы.		

2) **floral_resources_[SEASON]_index** – индекс обилия энтомофильной растительности в каждый из рассматриваемых отрезков вегетационного периода. Значение коэффициента варьирует в диапазоне от 0 до 1. В качестве индикатора выступает проективное покрытие цветущих энтомофильных растений, при необходимости скорректированное с учетом продолжительности периода цветения относительно общей длины

рассматриваемого временного интервала (Sharp et al., 2020). Оценка производится глазомерно в ходе геоботанических описаний на пробных площадях (Борисова, 2009). При необходимости допускается экспертная корректировка данного параметра с учетом качества цветущей растительности на участке, а именно сравнительной привлекательности цветущих растений для опылителей, однако в рамках настоящей работы такая корректировка не производилась.

Предложенный выше методический подход к параметризации таблиц земельного покрова (для крупномасштабной оценки и оценки на муниципальном уровне) обусловил необходимость проведения полевых маршрутных и геоботанических исследований. В связи с этим за четыре полевых сезона (2021–2024 гг.) было осуществлено семь полевых выездов на территорию Венёвского района продолжительностью от одного до пяти дней (табл. 4.2). При этом маршрутные выезды охватили пять месяцев вегетационного сезона – с мая по сентябрь, что позволило методом глазомерной оценки определить проективное покрытие цветущей энтомофильной растительности, а также степень доступности четырех субстратов гнездования на участках, относящихся к разным классам земельного покрова, что необходимо для формирования таблицы гильдий.

Геоботанические описания естественных и залежных фитоценозов выполнялись по стандартным методикам с дополнительной фиксацией проективного покрытия цветущей растительности и доступности субстратов гнездования преимущественно в июле. Данный период был выбран в связи с тем, что именно для июля в настоящей работе проводилась оценка экосистемной услуги опыления с использованием программы InVEST Crop Pollination (главы 5 и 6). Всего за выезды 2021–2023 гг. выполнено 58 описаний, 18 из которых были сделаны на модельной территории для крупномасштабной оценки. Кроме того, в ходе маршрутных выездов фиксировались данные о возделываемых на полях культурах, что за четыре года позволило определить используемые схемы севооборота.

Таблица 4.2 – График проведения полевых исследований

Периоды полевых выездов	07/2021	08/2021	06–07/2022	07/2023	09/2023	05/2024	07/2024	
Маршрутные исследования – Венёвский район								
Маршрутные исследования рекогносцировочные – модельная территория								
Геоботанические описания модельная территория (кол-во)			11	7				
Геоботанические описания за пределами модельной территории (кол-во)	9	4	12	15				
Энтомологические учеты								

4.3. Таблица гильдий: выделение групп и их параметризация

4.3.1. Параметры и индикаторы таблицы гильдий

В таблице гильдий отображаются характеристики каждого вида или экологической группы (гильдии) пчел-опылителей, представляющих интерес для исследования.

Таблица состоит из следующих столбцов:

- **SPECIES:** Уникальное название для каждого вида или гильдии опылителей, представляющих интерес.
- **nesting_suitability_[SUBSTRATE]_index** – пригодность определенного субстрата (почва, древесина, готовые полости и пр.) для гнездования вида/ видов, составляющих гильдию. 1 означает, что среда полностью используется для гнездования, а 0 – не используется совсем (Lonsdorf, 2009). Для каждого субстрата создается отдельный столбец.

- **foraging_activity_[SEASON]_index** – активность опылителей из каждой гильдии в период: 1 – максимальная активность для данного вида/гильдии, а 0 – отсутствие активности. Периоды соответствуют выделенным в таблице земельного покрова. Для каждого представляющего интерес периода выделяется отдельный столбец.
- **Alpha** – средняя дальность фуражировочных полетов рабочих особей. Модель использует этот параметр для оценки доступных цветочных ресурсов вокруг каждого пикселя.
- **relative_abundance** – относительное обилие каждой гильдии (от 0 до 1).

Естественнонаучные индикаторы, отражающие параметры таблицы гильдий, и используемые в данной работе методы оценки приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Методы оценки параметров таблицы гильдий

Параметр	Индикатор	Метод оценки	Пояснение
nesting_suitability_ [SUBSTRATE]_index	Тип гнездования	Литературные данные. Предпочтительны исследования на территориях, географически близких к модельной территории	Для видов с пластичным гнездованием наименее предпочитаемый субстрат указывается с коэффициентом 0,5
foraging_activity_ [SEASON]_index	Период лета пчёл		Указывается, какую долю периода активны пчёлы каждой гильдии

Таблица 4.3 – Методы оценки параметров таблицы гильдий (продолжение)

Параметр	Индикатор	Метод оценки	Пояснение
Alpha	Средняя дальность фуражировочных полетов рабочих особей	Литературные данные: корпус исследований, проведенных для оценки экосистемной услуги опыления.	
relative_abundance	Относительное обилие – число особей видов, входящих в гильдию, относительно всех особей	Полевые количественные учеты	

Ключевой этап построения таблицы гильдий – разделение исходного фаунистического списка на однородные группы по параметрам, значимым для опыления. Следуя логике модели InVEST Crop Pollination, гильдию определяют как экологическую группу видов пчёл, объединённых сходным гнездовым поведением (Sharp et al., 2020). Если у опылителей совпадает тип гнездования, но различаются сезон лёта, радиус полёта или другие существенные признаки, таких опылителей целесообразно разделить на отдельные гильдии.

В практических исследованиях по оценке опыления с помощью инструмента InVEST Crop Pollination детальная разбивка фаунистического списка пчёл на гильдии встречается редко. Обычно выделяют от двух до четырёх групп, опираясь на образ жизни (например, одиночные пчёлы, шмели и медоносные пчёлы в работах Burns and Stanley (2022) или Steffan-Dewenter et al. (2002)), субстрат гнездования (Koh et al., 2015) либо сочетание этих признаков (Gardner et al., 2020).

Видовое богатство и разнообразие пчёл Венёвского района позволяет выделить несколько экологических групп, отличающихся друг от друга с точки зрения обеспечения экосистемной функции опыления культурных растений. Для разделения всех обитающих на исследуемой территории видов пчёл на гильдии, а также для присвоения значений соответствующим параметрам каждой из них необходим подробный фаунистический анализ, выполняемый на основе данных по

каждому виду, полученных из литературных источников. Ниже представлен алгоритм проведения такого анализа.

Первичным критерием выделения гильдий в настоящем исследовании выступает субстрат гнездования, поскольку именно данный параметр используется в таблице земельного покрова для оценки пригодности различных типов территорий для обитания пчел. При этом в рамках настоящей работы при выделении групп по способу гнездования учитывался исключительно тип субстрата, в котором размещаются пчелиные гнезда, вне зависимости от способа его освоения (например, использование готовых полостей либо способность к их самостоятельному созданию).

4.3.2. Дикie пчёлы Венёвского района: фаунистический анализ для таблицы гильдий

Для исследования опыления диких и культурных растений в пределах определенного ландшафтного района необходимы сведения о видовом составе и экологических особенностях диких пчёл, обитающих на его территории. Согласно последнему изданию Красной книги Тульской области, на территории региона учтено порядка 200 видов перепончатокрылых (*Hymenoptera*), включая пчёл (*Anthophila*) (Красная книга Тульской области, 2013).

Основой для анализа апидофауны Венёвского района послужил аннотированный список видов ООПТ «Урочище Излучина» (Левченко и др., 2021). Данная работа – наиболее полное на сегодняшний день фаунистическое исследование диких пчёл в Тульской области – была выполнена на материалах сборов 2001–2021 годов. Памятник природы местного значения «Урочище Излучина» расположен в восточной части Венёвского района (рис. 4.1.) на правом и левом склонах долины р. Осетр в 3 км от границы с Московской областью (городской округ Серебряные Пруды). ООПТ была создана в 1987 г., а в 2013 г. её границы были расширены. Основными объектами охраны стали комплекс растительных сообществ луговой степи и редкие виды насекомых (Красная книга Тульской области, 2014). В границах ООПТ представлены различные биотопы, типичные для Среднерусской провинции широколиственных лесов: помимо,

луговых степей на пологих участках склонов и кальцефильных группировок на выходах известняков, на территории имеется средневозрастная дубрава. Территория ООПТ исторически окружена пахотными землями (Левченко и др., 2021).

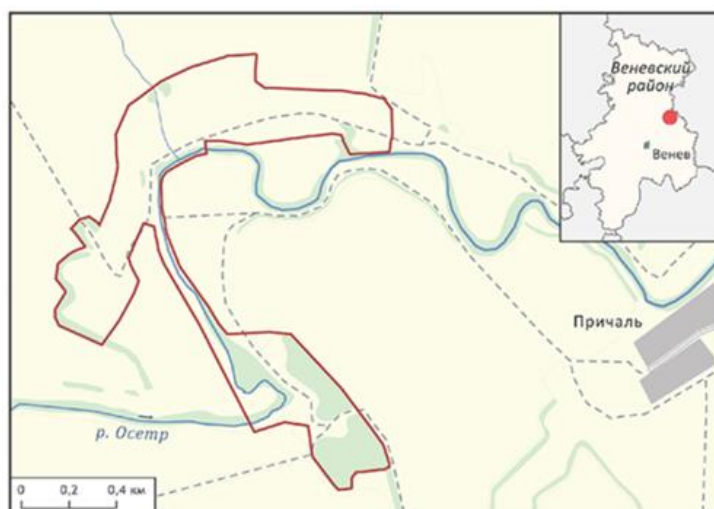


Рисунок 4.1 – Карта-схема расположения ООПТ «Урочище Излучина»
(источник: Красная книга Тульской обл., 2016)

Несмотря на то, что учёты пчёл в исследовании Левченко и др. (2021) проводились исключительно в границах ООПТ, степень антропогенного воздействия на которую характеризуется как умеренная, и не затрагивали окружающие агроландшафты, представленный видовой состав пчёл можно рассматривать как репрезентативный и для окружающей территории. Такой вывод позволяют сделать результаты исследований, посвященных изучению фаунистического состава пчёл сопредельных ландшафтов со сходными физико-географическими условиями, но разным режимом охраны (Romasenko, 1995; Дугина, 2009). Эти исследования выявили лишь незначительные различия в составе апидофаун подобных территорий. Снижение антропогенной нагрузки в первую очередь способствует сохранению редких олиголектических видов, не имеющих большого влияния на опыление сельхозкультур.

В ходе исследования Левченко и др. (2021) на территории памятника природы «Урочище Излучина» было выявлено 122 вида пчёл (без учета медоносной пчелы *Apis mellifera*). Кроме того, найденные на территории ООПТ

клептопаразитические виды позволяют выдвинуть предположение о присутствии на территории ООПТ некоторых не обнаруженных непосредственно видов пчёл (*Andrena vaga*, *Megachile rotundata*, пчёлы рода *Colletes* летней фенологической группы).

Для целей данной работы из списка видов, приведенного в статье Левченко и др. (2021), были выбраны гнездостроящие виды разных форм социальности – от одиночных до примитивно-эусоциальных (по классификации В. Г. Радченко и Ю. А. Песенко (1994)). Обнаруженные на территории клептопаразитические виды пчёл (Halictidae: *Sphcodes*; Megachilidae: *Coelioxys*; Apidae: *Nomada*, *Epeolus*, *Psithyrus*) из анализируемого списка исключены. Самки клептопаразитов не принимают участия в уходе за потомством, у них отсутствует пыльцесобирающий аппарат, и они не ведут фуражировочной деятельности, поэтому их практическое значение как опылителей оценивается в литературе как второстепенное (Радченко, Песенко, 1994; Добрынин, 1998). Кроме того, в список добавлены пчёлы *Andrena vaga* и *Megachile rotundata* – значимые опылители культур из семейства бобовых (*Fabaceae*), которые по мнению авторов фаунистического обзора должны обитать на данной территории (Левченко и др., 2021).

Финальный список, используемой в данной работе, содержит 99 видов диких пчёл. По литературным данным была составлена сводная таблица (Прил. II), в которой представлена детализированная информация о видовом составе, биологических и экологических особенностях диких пчёл-опылителей энтомофильных растений Венёвского района. Как и в работе Левченко и др. (2021) названия семейств, родов и видов приведены по изданию «Аннотированный каталог перепончатокрылых насекомых России» (2017).

На территории Венёвского района представлены дикие пчёлы-опылители всех размерных категорий (Прил. II. столбец «Размер»). В работе используются категории, выделенные в исследовании Everaars (2012): очень маленькие (<6 мм), маленькие (<10 мм), средние (10–12 мм), большие (> 12 мм, рис. 4.2)) и очень большие (> 16 мм). Длина тела рабочих особей разных видов, приведенная в

различных литературных источниках (Pesenko et al. 2000; Корженевский и др., 2011; Yu and Dathe, 2012; Özbek and Dathe, 2020 и др.), указана в столбце «Длина тела». Внутри данного сообщества этот показатель варьируется между 4 мм и 28 мм.

Далее рассмотрены наиболее важные с точки зрения экосистемной услуги опыления биологические и экологические характеристики гнездостроящих пчёл Венёвского района. Наиболее полные данные по большинству видов (87 видов) приведены Т. В. Левченко (2010) для Московской области. Поскольку Венёвский район непосредственно



Рисунок 4.2 – Шмель каменный (*Bombus lapidarius*) на цветке лугового василька (*Centaurea jacea*) (июль 2024)

прилегает к городским округам Кашира и Серебряные пруды Московской области, для целей данной работы оправдано использование сведений Левченко о биотопической приуроченности, трофических связях пчёл и периодах их лёта.

Обеспеченность опыления энтомофильных сельскохозяйственных растений в первую очередь зависит от трофических связей сообщества гнездостроящих пчёл на данной территории. Как показано в приложении II, в апидофауне Венёвского района преобладают полилектичные виды (71 вид), чьи самки собирают нектар и пыльцу с цветковых растений различных семейств. Среди 27 видов олиголектов 11 связаны с растениями двух семейств — сложноцветных (*Asteraceae*) и бобовых (*Fabaceae*), к которым принадлежат многие возделываемые в районе культуры (напр., подсолнечник, клевер, люцерна).

В столбце «Опыляемые культуры» (Прил. II) приведены результаты обзора корпуса исследований, посвященных видовому составу и относительному обилию опылителей отдельных энтомофильных культур, возделываемых в Венёвском районе – подсолнечника, люцерны, клевера красного, рапса и др. (Free, 1993; Добрынин, 1998; Ченикалова, 2005; Наумкин и др., 2014; Амолин, 2018 и др.).

Сведения о посещении цветущих культур доступны по 49 видам гнездостроящих пчёл района. Большая часть пчёл (41 вид), фуражирующих на хозяйственно важных растениях, являются полилектами, зачастую отдающими предпочтения семействам бобовых (*Fabaceae*) и сложноцветных (*Asteraceae*).

Следующий значимый параметр сообщества – **сезонная динамика фуражировочной активности**. У гнездостроящих пчёл Венёвского района сроки и продолжительность лёта варьируют между видами, однако период активности всего сообщества в целом совпадает со временем цветения основных энтомофильных культур в районе (Баздырев и др., 2008). По сведениям Т. В. Левченко (2010), лёт пчёл в граничащей с Венёвским районом Московской области длится с конца апреля по первую половину сентября, что короче, чем в Центральной Европе, в условиях которой установлены сроки лёта для многих видов пчёл, встречающихся также и в Европейской России. Сроки лёта пчёл-опылителей Венёвского района (Прил. II) определены по литературным источникам. Основой для фенологических данных послужила работа Т. В. Левченко (2010). Для видов, отмеченных в Венёвском районе, но отсутствующих в Московской области, сроки лёта устанавливали по публикациям из регионов, географически близких к Тульской области. Если литературные данные для сходных физико-географических условий отсутствовали, использовались сведения из европейских исследований. Анализ сроков лёта пчёл позволил выделить пять фенологических групп, последовательно сменяющих друг друга в течение вегетационного периода и участвующих в опылении энтомофильных растений. Классификация групп выполнена согласно типологии, предложенной Радченко и Песенко (1994).

- **весенние** формы (конец апреля – начало июня) – 5 видов;
- **весенне-раннелетние** формы (середина мая – конец июня или начало июля) – 14 видов;
- **летние** формы (июнь – август) – 37 видов. Из них 7 видов с коротким периодом лёта (июнь-июль);
- **позднелетние** формы (вторая половина июля – начало сентября) – 1 вид;

- виды с **растянутым периодом лёта** (не менее трех месяцев, как правило, летают в течение всего теплого сезона), а также бивольтинные виды, фактически фуражирующие на протяжении всего сезона цветения, – 44 вида.

Таким образом, большинство опылителей энтомофильных растений Венёвского района относится к летним формам со средним периодом лёта либо имеет длительный период лёта, охватывающий практически весь сезон цветения. Весенняя и весенне-раннелетняя фенологические группы представлены относительно небольшим числом видов, однако они являются преимущественно полилектами, в состав кормовых растений которых входят, в частности, представители семейства Розоцветные (Rosaceae). К данному семейству принадлежат многие хозяйственно значимые плодовые культуры, сроки цветения которых в средней полосе России приходятся на май (например, яблоня, вишня).

Помимо доступности кормовых растений в период лёта, оценка экосистемной услуги опыления в рамках модели Лонсдорфа предполагает анализ пригодности различных классов земельного покрова для гнездования пчёл (Lonsdorf et al., 2009). Диких пчёл-опылителей можно разделить на несколько экологических групп по типам гнездования (Радченко, Песенко, 1994). Выделяют виды, самостоятельно роющие гнездовые ходы в почве (рис. 4.3); выгрызающие ходы в растительных материалах, преимущественно в трухлявой древесине; использующие готовые полости; строящие гнезда на открытых местах, а также виды с пластичным типом гнездования, способные применять различные способы устройства гнёзд.



Рисунок 4.3 – Агрегации гнезд в почве

Гнездование пчёл Венёвского района устанавливалось по отечественным и зарубежным литературным данным (Радченко, 1981; Боднарчук, Радченко, 1985; Ефремова, 1991; Радченко, Песенко, 1994; Добрынин, 1998; Игнатенко, 2012; Fowler, 2014; Амолин, 2018 и др.). Подавляющее большинство видов пчёл территории (59 видов) относится к группе землероющих пчел. Большая часть из них предпочитают хорошо прогреваемые слабозадернованные участки с разреженной или невысокой растительностью. Для некоторых видов установлено предпочтение почве определенного типа – плотной глинистой (суглинистой) или песчаной (супесчаной).

В готовых полостях гнездится 28 видов, из них подземно, в пустотах под корнями и норах мелких грызунов – 6 видов *Bombus* (Радченко, 1989). Виды, гнездящиеся наземно в готовых полостях, выбирают для строительства гнезд полые стебли растений (предпочтительное место гнездования для видов рода *Hylaeus*), трещины стен жилых домов, старые ходы насекомых в древесине (рис. 4.4) (Игнатенко, 2012). 5 видов *Bombus* устраивают гнезда из растительного материала на поверхности почвы. 3 вида пчёл выгрызают гнездовые полости в сухой или гнилой древесине. 2 вида – *Bombus pascuorum* и *B. pratorum*, имеют пластичное гнездование. Для двух видов шмелей – *Bombus deuteronymus* и *B. semenoviellus*, гнездование не изучено (Красная книга Московской области, 2018).



Рисунок 4.4 –
Гнездование в готовых
полостях (ходы жуков)

О совпадении наличия подходящих мест для гнездования и произрастания предпочитаемых цветущих растений в пределах дальности лёта свидетельствуют литературные сведения о биотопической приуроченности разных видов пчёл (приведены в одноимённом столбце Прил. II). По данным Левченко и др. (2021), в фауне ООПТ «Урочище Излучина» значительно преобладает луговой комплекс. Это связано с тем, что на данной особо охраняемой природной территории травянистые экосистемы намного превышают по площади лесные. Поскольку

Венёвский район в целом характеризуется низкой степенью лесистости (14,6%) (Лесной план Тульской области, 2015), можно предположить, что на территории всего района указанное соотношение луговых и лесных видов сохранится. Таким образом, пчёлы, приуроченные к лесным биотопам, составляют 10% видов Венёвского района. Стоит отметить, что речь идёт не о пологе леса, где пчёлы встречаются реже, а об открытых участках, ассоциированных с лесом, – полянах, опушках, просеках и зарастающих вырубках (Левченко, 2010).

Виды пчёл, приуроченные к травянистым (преимущественно сухолуговым) биотопам, составляют основную долю (60%) апидофауны района. К сухолуговым биотопам относятся, в частности, залежи на луговой стадии сукцессии. 28% видов пчёл опылителей относятся к эвритопным, зарегистрированным в нескольких биотопах. Это лесолуговые типы со значительной степенью участия как в апидофауне лесных и луговых биотопов. Кроме того, 3 вида *Andrena rufizona*, *Osmia spinulosa* и *Bombus pratorum*, связаны с выходами известняка михайловского и алексинского ярусов нижнего карбона. Это характерные для Венёвского района действующие и отработанные карьеры и останцы (Левченко и др., 2021).

Кроме того, многие виды апидофауны Венёвского района отмечены в Московской области в антропогенных биотопах, к которым относятся возделываемые поля, приусадебные участки и заросшие рудеральной растительностью обочины (Левченко, 2010). Эти типы земельного покрова по многим характеристикам (влажность и температура почвенного покрова) схожи с сухолуговыми биотопами, к которым приурочены многие виды района.

Ключевым фактором при оценке экосистемной услуги опыления в агроландшафте выступает **дальность фуражировочных полётов** пчёл. Радиус полёта ограничен как внутренними (физиологическими и морфологическими особенностями), так и внешними факторами (ландшафтными барьерами). Кормовые ресурсы за пределами этого радиуса становятся для пчёл практически недоступными (Zurbuchen et al., 2010). В связи с этим в зарубежных исследованиях особое внимание уделяется оценке среднего расстояния, преодолеваемого пчёлами разных видов от гнезда. Для определения дальности фуражировочных полётов

различных видов пчёл используются разные методы, в том числе: микросателлитные ДНК-маркеры для идентификации принадлежности рабочих шмелей к определённой колонии (например, Knight et al., 2005); анализ пыльцы на наличие пыльцевых зёрен кормовых растений, произрастающих на известном расстоянии (например, Veil et al., 2008); а также радиослежение за видами, размеры которых позволяют установить на теле датчик (например, Carreck et al., 1999).

Несмотря на растущий интерес исследователей к дальности фуражировочных полётов диких пчёл-опылителей, имеющиеся данные по-прежнему фрагментарны. В сводной таблице (Приложение II) обобщены доступные литературные данные о радиусах фуражировочных полётов самок одиночных пчёл и рабочих особей эусоциальных пчёл. В качестве основных источников использовались обзорные работы (Gathmann and Tscharntke, 2002; Greenleaf et al., 2007; Everaars, 2012), а также результаты по отдельным видам пчёл (Peterson, Roitberg, 2006; Connop et al., 2011; Redhead et al., 2016). Показатели средней дальности фуражировочных полётов доступны для 31 вида пчёл (31%). Наиболее изученными с точки зрения дальности полета являются представители рода *Bombus*, тогда как по одиночным пчелам информация ограничена. Необходимо отметить, что по некоторым часто исследуемым видам (напр., *Lasioglossum fulvicorne*, *Chelostoma florissomne*, *Bombus terrestris*) экспериментальные результаты оценки дальности лёта, полученные разными исследователями, могут различаться в 2–3 раза.

Важно отметить, что в Приложении II приведены показатели, отражающие среднее, а не максимальное расстояние удаление пчелы от гнезда, получаемое в ходе экспериментов по перемещению пчёл из гнезда или переносу кормовых растений. Максимальная дальность полета, как правило, значительно превышает обычное расстояние, многократно преодолеваемое в течение дня рабочими пчелами, курсирующими между гнездом и кормовыми растениями в естественных условиях (Hofmann et al., 2020). Вынужденное увеличение дальности полета от гнезда к кормовым растениям сопряжено с ростом затрат энергии и времени на фуражировку, снижением качества выкармливания расплода и как результат –

репродуктивного успеха (Радченко, Песенко, 1994; Peterson and Roitberg, 2006; Zurbuchen et al., 2010). Необходимость преодолевать расстояния, превышающие естественные показатели, сокращает продолжительность жизни рабочих особей (Schmid-Hempel and Wolf, 1988), а длительное отсутствие пчёл в гнезде повышает риск его захвата клептопаразитами (Seidelmann, 2006). Таким образом, максимальная дальность полета, определенная экспериментально или вычисленная с использованием основанных на морфометрических показателях регрессионных моделей (напр., Greenleaf et al., 2007), не связана с устойчивым поддержанием жизнеспособных популяций диких пчёл в ландшафте, и поэтому данный показатель непригоден для оценки обеспеченности экосистем опылением (Wright, 2015).

Доступные данные по средней дальности фуражировочных полетов могут служить лишь ориентиром при оценке средней дальности лета таксономических, размерных или экологических групп, к которым принадлежат изученные виды. Исследования показывают наличие статистически значимой зависимости между размером пчелы, показателем которого часто выступает расстояние между основаниями крыльев (*inter-tegular span*), и дальностью фуражировочных полетов (напр., Bailey et al., 2014). Однако речь в данном случае идет не о среднем, а о максимальном удалении пчелы от гнезда, в то время как зависимость средней дальности фуражировочных полетов от размера тела пчелы экспериментально не подтверждается (Knight, 2005).

Точность оценки обеспеченности энтомофильных культур опылителями определяется данными об относительном обилии видов и экологических групп пчёл на модельной территории (Lonsdorf et al., 2009). Однако количественные данные по диким пчёлам требуют проведения масштабных учётов и доступны лишь в ограниченном объёме; в частности, для территории Венёвского района такие данные отсутствуют. Вместе с тем анализ литературы позволяет сделать некоторые обобщения о распределении обилия. Так, по данным Т. В. Левченко с соавторами (2021), для ООПТ «Урочище Излучина» луговые виды пчёл как по числу видов, так и по численности превосходят лесные. Наиболее характерные

виды лугового комплекса: *Hylaeus dilatatus*, *Andrena ovatula*, *A. paucisquama*, *A. thoracica*, *Systropha planidens*, *Melitta melanura*, *Lithurgus cornutus*, *Hoplitis tridentata*, *Eucera rufipes*, *Bombus humilis*, *B. cullumanus serrisquama* и *B. confusus* (Левченко и др., 2021).

Дополнительной информацией, касающейся относительного обилия различных групп пчел, является зависимость численности особей вида от формы социальности. Виды с эусоциальным образом жизни, такие как некоторые представители семейства *Halictidae* и все виды *Bombus* (*Apidae*), в течение сезона могут достигать довольно большой численности благодаря росту семьи за счет нескольких поколений рабочих пчел, что обеспечивает им высокую долю в населении пчёл (Левченко, 2010). В Венёвском районе обитают представители всех основных типов социальности: обычные одиночные, агрегации гнезд, коммунальные колонии, субсоциальные колонии, примитивно-эусоциальные колонии (приведены по классификации, принятой Радченко, Песенко, 1994). Тип социальности каждого вида указан в Приложении II.

Приведённые выше выводы об обилии разных групп пчёл в сообществе недостаточны для присвоения весов группам пчёл в таблице гильдий. Вследствие этого для подготовки входных данных были проведены авторские количественные учёты на модельной территории для крупномасштабной оценки (июль 2024 г.), подробное описание которых представлено в главе 5.

4.3.3. Классификация опылителей в соответствии с критериями среды InVEST

Таким образом, в категории «**nesting_suitability_[SUBSTRATE]_index**» выделяется 4 типа субстрата гнездования:

[CAVITY] – надземное гнездование в готовых полостях или рыхлом субстрате. К этой группе в первую очередь принадлежат виды, предпочитающие гнездиться в сухих пустотелых побегах травянистых растений, а также виды, использующие другие готовые надземные полости (кроме отверстий в древесине). Кроме того, из-за схожести требований к местообитанию к данной группе отнесены виды, выгрызающие отверстия в сердцевине мягкотелых стеблей травянистых и кустарниковых растений.

[WOOD] – гнездование в мертвой древесине (валежник, сухостой, старые деревянные сооружения). Этот тип гнездования объединяет пчел, самостоятельно выгрызающих гнездовые полости мандибулами и использующих уже имеющиеся пустоты (в т.ч. старые ходы насекомых-ксилофагов).

[OPENSOURCE] – гнездование на открытых местах или в широких полостях. Речь идет о видах, самостоятельно сооружающих гнезда на открытых местах (наземное или надземное гнездование – на поверхности почвы, под кустарниками, на деревьях, в старых гнездах птиц и пр.) или использующих для строительства относительно большие полости (надземные и/или подземные). Этот тип гнездового поведения присущ всем обитающим на территории видам *Bombus* с изученным гнездованием.

[GROUND] – гнездование в почве. К этой группе относятся пчелы, выкапывающие мандибулами гнездовые полости в почве. Это самая многочисленная группа (59 видов) и самая неоднородная с точки зрения периода летной активности, радиуса фуражировочных полетов и других параметров. Поэтому ее целесообразно разделить подгруппы.

Основой для выделения гильдий в Венёвском районе послужил субстрат гнездования. Всего выделено 7 групп:

1. *Bombus* (шмели) – 14 видов, гнездящихся на открытых местах и в крупных полостях. Сюда также отнесены *B. deuteronymus* и *B. semenoviellus*, тип гнездования которых не изучен (Красная книга Московской области, 2017). Все представители гильдии – крупные пчелы (категория «большие» и «очень большие») с примитивно-эусоциальным образом жизни; колонии достигают высокой численности. У 12 видов растянутый период лёта – с мая по сентябрь. Для 9 видов известна средняя дальность полёта (от 231 до 758 м). Параметру alpha присвоено значение 500 м – это наибольший радиус фуражировки среди всех гильдий.

2. Wood-nesting (гнездящиеся в мертвой древесине) – 7 видов, преимущественно из семейства Megachilidae. Гнездятся в мертвой древесине, одиночно или агрегациями. Активны в летние месяцы. Размеры варьируют от 5,4 до 16,8 мм.

3. Cavity-nesting (гнездящиеся в готовых полостях) – 18 видов, главным образом из семейств Colletidae и Megachilidae. Преимущественно некрупные одиночные пчелы летней фенологической группы.

4. **Ground-solitary1 (роющие одиночные, весенне-раннелетние)** – 20 видов со средним и коротким периодом лёта. В основном это представители семейства Andrenidae (с единичными включениями Colletidae, Halictidae, Apidae). Гнездятся одиночно или агрегациями.

5. **Ground-solitary2 (роющие одиночные, летние)** – 18 видов со средним и коротким периодом лёта. Объединяет всех обитающих на территории Melittidae, а также часть Andrenidae и Halictidae. Социальное поведение – от одиночного до коммунальных колоний. Для представителей этой группы установлен минимальный радиус фуражировки (в таблице – 100 м).

6. **Ground-solitary3 (роющие одиночные, бивольтинные)** – 6 видов семейства Andrenidae. Мелкие пчёлы с растянутым совокупным периодом лёта за счет двух генераций.

7. **Ground-social (роющие эусоциальные)** – 16 видов семейства Halictidae с растянутым периодом лёта. Преимущественно пчёлы малого и очень малого размера, ведущие примитивно-эусоциальный или субсоциальный образ жизни (кроме *Lasioglossum fulvicorne* и *L. puncticolle*). Для 6 видов доступны данные о средней дальности полёта.

В таблице 4.4 представлена таблица гильдий, необходимая для оценки обеспеченности опылением в среде InVEST. Фуражировочная активность каждой группы показана ежемесячно за тёплый сезон – с мая по сентябрь. Поскольку литературные данные по относительному обилию видов для фауны пчёл района отсутствуют, соответствующий столбец не заполнен: для присвоения весов гильдиям будут использованы результаты авторских количественных учётов, проведенных в исследуемый период.

Таблица 4.4 – Таблица гильдий

Гильдия	Субстрат гнездования				Активность по месяцам					Дальность полета, м.	Обилие
	Готовые полости	Древесина	Открытые места	Почва	V	VI	VII	VIII	IX		
I Bombus	0	0	1	0	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	500	N/A
II Wood-nesting	0	1	0	0	0,05	0,30	0,30	0,30	0,05	300	N/A
III Cavity-nesting	1	0	0	0	0,05	0,35	0,35	0,2	0,05	200	N/A
IV Ground-solitary1	0	0	0	1	0,33	0,34	0,33	0	0	250	N/A
V Ground-solitary2	0	0	0	1	0	0,35	0,35	0,30	0	100	N/A
VI Ground-solitary3	0	0	0	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0	370	N/A
VII Ground-social	0	0	0	1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	400	N/A

Подводя итог изложенному в данной главе, следует отметить, что решение задачи оценки потенциала опыления в агроландшафтах Венёвского района с применением программного продукта InVEST Crop Pollination потребовало разработки двух взаимосвязанных компонентов методического обеспечения, направленных на повышение точности моделирования: подхода к выделению и параметризации классов земельного покрова и таблицы гильдий диких пчёл Венёвского района. В совокупности представленные в главе методические решения и исходные данные образуют необходимую основу для проведения полноценной оценки потенциала опыления на различных пространственных уровнях в границах Венёвского района.

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНОЙ УСЛУГИ ОПЫЛЕНИЯ НА КРУПНОМАСШТАБНОМ УРОВНЕ

Опыление сельскохозяйственных культур относится к экосистемным услугам локального пространственного уровня, в связи с чем точность его оценки повышается при использовании крупномасштабных карт земельного покрова, обеспечивающих учёт небольших по площади участков, отличающихся от окружающей территории по гнездовым и кормовым параметрам (Анпилогова, 2023). Анализ на данном уровне пространственной детализации создает основу для принятия внутривладельческих решений, направленных на повышение обеспеченности опылением угодий, занятых энтомофильными культурами, – от выбора полей для размещения таких культур до трансформации латеральной структуры территории хозяйства (см. раздел 2.2.1).

5.1. Входные данные

Для крупномасштабной оценки экосистемной услуги опыления выбран агроландшафт на северо-западе Венёвского района, в подзоне широколиственных лесов (рис. 5.1). По физико-географическому районированию модельная территория относится к Осетро-Истьянскому району. Площадь территории исследования составляет 42 км², протяженность территории с юга на север – 11 км, с запада на восток – 3–5 км. С запада граница модельной территории совпадает с границей муниципального района, с востока проходит по федеральной автомобильной дороге М4 «Дон». Южная граница агроландшафта проходит по линии р. Абрань – р. Гремячья – р. Большая Смедова и совпадает с границей распространения черноземов оподзоленных. С севера район исследования также ограничен зоной распространения черноземов оподзоленных (Национальный атлас почв..., 2011).

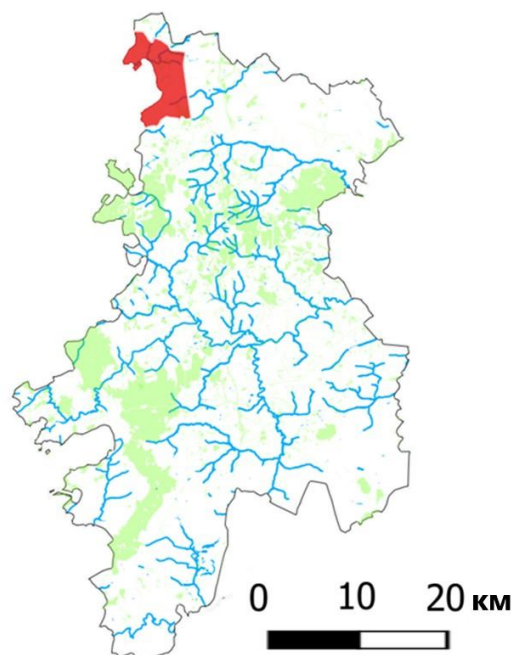


Рисунок 5.1 – Расположение модельной территории в Венёвском районе (выделено красным)

Выбор территории исследования в указанных границах (рис. 5.1) требует обоснования. Как отмечалось ранее, оценку экосистемных услуг целесообразно проводить в границах территорий, однородных по параметрам, существенным для формирования конкретной услуги (Экосистемные услуги России..., т. 2, 2020). Для регулирующих экосистемных услуг, обеспечивающих поддержку земледелию, оптимальным представляется проведение оценки на агроландшафтной основе (см. раздел 2.2.1). При выборе пространственного уровня агроландшафтной единицы наиболее релевантной является геосистема ранга агроместности, характеризующаяся пространственным масштабом до 50 км² (Казаков, 2004). Данный масштаб обеспечивает достаточный объем выборки пикселей для достижения статистической значимости результатов, что позволяет не только дать характеристику конкретных пространственных единиц с точки зрения условий гнездования и потенциала опыления, но и выявить закономерности, связанные со свойствами различных классов земельного покрова в границах исследуемой территории.

Выбор объекта крупномасштабного исследования обусловлен рядом природных и антропогенных факторов, определяющих его однородность с точки

зрения формирования условий для опыления. Основой выделения модельной территории послужил характер рельефа: исследуемый участок представляет собой пологоволнистую равнину, расчлененную сетью малых рек (р. Змеевка, р. Шераповка, р. Жилевка, р. Стрелка – некоторые в летний период пересыхают) балок и оврагов. Преобладающим типом почв здесь являются оподзоленные черноземы, что исторически предопределило использование данной территории под посевы однолетних культур (Тульская область: топографическая карта, 1990). К северу и югу от границ модельной территории рельеф сменяется крупнохолмистым, а почвенный покров представлен преимущественно светло-серыми лесными почвами. На этих землях исторически размещались фруктовые сады (Тульская область: топографическая карта, 1990), в настоящее время находящиеся в заброшенном состоянии. Западная и восточная границы исследуемой территории имеют антропогенное происхождение и являются искусственными рубежами.

Геоботанические исследования территории, проведенные автором в 2022–2023 гг. (рис. 5.2), подтверждают фитоценотическую однородность территории в отношении кормовой базы для диких пчел. Установлено, что на необрабатываемых полях в пределах выделенной территории формируются сходные типы фитоценозов – разнотравно-злаковые или разнотравно-вейниковые ассоциации с участием березового и ивового подроста. Помимо этого, результаты маршрутных наблюдений автора (2021–2023 гг.) свидетельствуют об относительной стабильности пространственной структуры угодий в границах исследуемого участка.

Дополнительным аргументом в пользу выбора модельной территории служит сохраняющаяся высокая доля залежных земель на разных стадиях постагрогенной сукцессии (в период 2021–2024 гг.). Учитывая сравнительно высокое плодородие местных почв и ориентацию региональной политики на вовлечение неиспользуемых земель в сельхозоборот, анализ различных сценариев использования залежных земель в контексте оценки экосистемной услуги опыления представляет особый научный и практический интерес.

В основу **карты земельного покрова** модельной территории положена объектно-ориентированная классификация спутникового снимка WorldView-2 сверхвысокого разрешения от 21.08.2021. Классификация базировалась на результатах полевого дешифрирования местности, проведенного в ходе маршрутных исследований модельной территории в 2021–2023 гг. (графики маршрутных выездов приведены в приложении IV). Обработка снимка выполнена в QGIS (модуль Orfeo Toolbox 8.1.1) с сегментацией алгоритмом MeanShift и последующей постобработкой.

Формирование перечня классов земельного покрова проводилось на основе результатов рекогносцировочных маршрутных исследований автора на модельной территории. Карта земельного покрова модельной территории представлена на рисунке 5.2. На ней выделено 11 классов, различающихся по важным для оценки обилия диких пчёл параметрам: доступности субстратов гнездования и кормовых ресурсов.

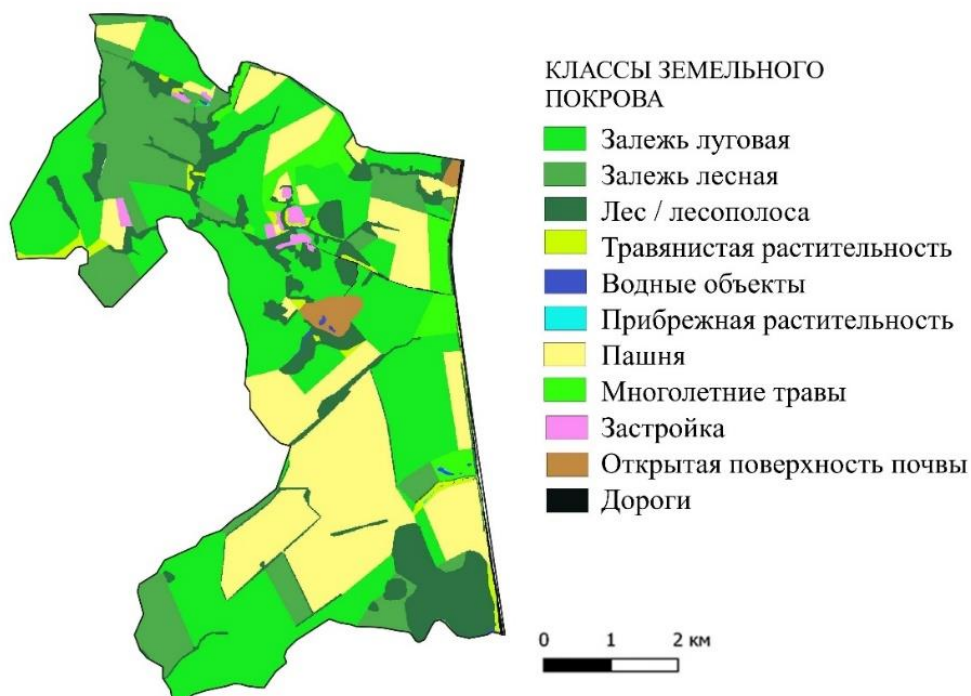


Рисунок 5.2 – Земельный покров модельной территории (2023 г.)

Таблица земельного покрова

Для параметризации таблицы земельного покрова на природных территориях (лесные фитоценозы, прибрежная растительность, залежные фитоценозы) автором были проведены геоботанические исследования (июль 2022–2023). Всего за время полевых выездов на ключевой территории было выполнено 18 геоботанических описаний естественных фитоценозов (лесные массивы, прибрежная растительность, залежи на разных стадиях сукцессии) (рис. 5.3). Описание древостоя и

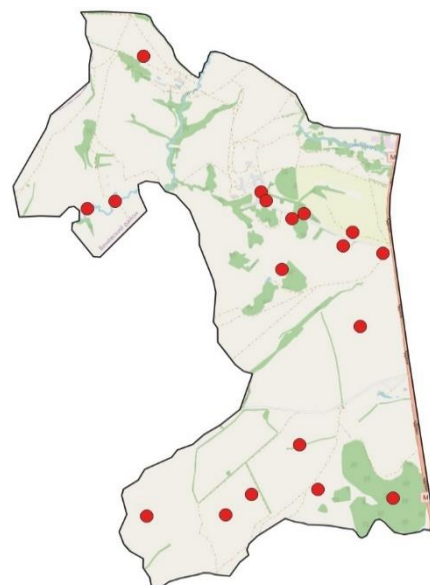


Рисунок 5.3 – Расположение учетных площадок

кустарникового яруса на залежах осуществлялось путем полной таксации деревьев (взрослых и подростов) и взрослых кустарников на пробной площадке. Описание травяного яруса, а также древесных и кустарниковых всходов проводилось по стандартным геоботаническим методикам (Ярошенко, 1969; Неронов, 2002) с указанием проективного покрытия каждого вида и общего проективного покрытия на учетных площадках 10x10 м. В случае мозаичного фитоценоза в пределах одной пробной площади для описания травостоя закладывались две учетные площадки, разнородные по растительному покрову. Стандартный бланк для выполнения геоботанических описаний был дополнен данными о проективном покрытии цветущих растений и их доступности, поскольку эти параметры необходимы для присвоения коэффициентов в таблице земельного покрова.

Детальные геоботанические исследования модельной территории проводились в июле – месяце, для которого в настоящей работе осуществляется оценка распределения экосистемной услуги опыления. Для присвоения коэффициентов на другие месяцы вегетационного периода использовались глазомерные оценки проективного покрытия цветущих растений и доступности

субстратов гнездования, выполненные в ходе маршрутных исследований территории (табл. 4.2)

Ниже дана характеристика классов земельного покрова модельной территории, значимых для опыления, составленная на основе авторских маршрутных исследований. Классы сгруппированы по принадлежности к природным и антропогенным экосистемам и перечислены в порядке убывания доли в общей площади территории (расчёт выполнен в модуле LecoS, значения указаны в скобках).

Природные экосистемы:

1. **Залежи на луговой стадии сукцессии** (рис. 5.4, далее по тексту – **залежь луговая**) занимают наибольшую долю в структуре землепользования территории (42,6%). Согласно результатам геоботанических исследований, на залежах модельной территории формируются разнотравно-злаковые ассоциации с внедрением подроста мелколиственных древесных пород (береза, ива козья).



Рисунок 5.4 – Луговые залежи Венёвского района (июль 2021–2023)

Представленные на луговых залежах виды энтомофильных растений (клевер ползучий, гибридный и красный, донник белый и желтый, тысячелистник обыкновенный, василек луговой, золотарник обыкновенный, кипрей узколистный,

цикорий обыкновенный и др.) образуют в течение вегетационного периода цветущий конвейер. Проективное покрытие цветущей энтомофильной растительности на модельной территории в летний период находится в интервале 40–80%.

На луговых залежах субстраты для гнездования по степени убывания доступности представлены открытыми местами (для шмелей), готовыми полостями в сухих полых стеблях и открытыми участками почвы. Значительную долю в составе залежных фитоценозов как модельной территории, так и Венёвского района в целом занимает многолетнее травянистое растение – вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*). На модельной территории его проективное покрытие сравнительно невысоко – оно колеблется от 5% до 25%. Ветошь и войлок вейника образуют мертвый покров мощностью до 10 см (Уланова, 1995). Такой напочвенный покров подходит для обустройства шмелиных гнезд, однако непригоден для роющих пчёл (Радченко, Песенко, 1994). Участки прогреваемых почв с разреженным растительным покровом, пригодные для многих видов роющих пчёл, гнездящихся в почве, приурочены к просёлочным дорогам, а также к тропинкам, проложенным по залежи или вдоль неё.

2. Залежи на 1-й лесной стадии сукцессии (16,7%) (далее по тексту – **залежь лесная**). Залежи с древесной растительностью (рис. 5.5), сомкнутость крон которой превышает 30%, относятся к 1-й лесной (мелколиственной) стадии сукцессии (Люри и др., 2010). Фитоценозы таких залежей, как правило, мозаичны: в них сочетаются хорошо освещенные луговые участки, где фитоценозы аналогичны описанным выше луговым, и притененные кронами молодых деревьев (береза, осина, ива козья) участки почвы. В той части залежи, где уже выросли деревья, вейник практически отсутствует, травянистый ярус ниже, а мертвый покров небольшой мощности сформирован преимущественно листовым опадом. Травянистая растительность под кронами разреженная, общее проективное покрытие травяного яруса составляет 25–30%. Проективное покрытие цветущей травянистой растительности составляет 10–15%. В её составе отмечены: гавилат алеппский (*Geum aleppicum Jacq.*), земляника обыкновенная (*Fragaria vesca L.*), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina L.*), дудник лесной (*Angelica sylvestris L.*).

Среди древесных пород присутствуют пыльценосные виды – ива козья и рябина обыкновенная.



Рисунок 5.5 – Лесные залежи Венёвского района (июль 2021–2023)

Характерные примеры залежных фитоценозов на различных стадиях сукцессии для территории Венёвского района приведены в приложении III.

3. Лес/ лесополоса (12,3%) – участки, покрытые древесной растительностью: лесные массивы разной площади и лесополосы.

Расположенные на исследуемой территории вторичные мелколиственные лесные массивы (рис. 5.6) относятся к категории противоэрозионных (Материалы Венёвского лесничества, 2021). В составе древостоя преобладает береза, присутствуют всходы и подрост клена остролистного и липы мелколистной. Кустарниковый ярус сложен лещиной обыкновенной. Среднее



Рисунок 5.6 – Мелколиственный лес на модельной территории (июль 2024)

среднее

проективное покрытие цветущей энтомофильной растительности в летний период (сныть обыкновенная – *Aegopodium podagraria* L., дудник лесной – *Angelica sylvestris* L., земляника лесная – *Fragaria vesca* L., бодяк разнолистный – *Cirsium heterophyllum* (L.) Hill, герань лесная – *Geranium sylvaticum* L., чина весенняя – *Lathyrus vernus* (L.) Bernh. и др.) при удалении от опушки до 50 м вглубь леса снижается с 40 до 5%.

Лесополосы исследуемой территории (рис. 5.7) сформированы березой повислой, зачастую с участием осины обыкновенной (старые лесополосы). Травяной ярус старых лесополос разреженный, молодых – густой, сложенный преимущественно злаками. Проективное покрытие цветущей растительности – 15–30%. Имеются участки открытые прогреваемые солнцем участки почвы. В старых деревьях присутствуют полости, пригодные для гнездования.



Рисунок 5.7 – Лесополосы на модельной территории (июль 2023)

4. Травянистая растительность (2,2%). К этому классу относятся травянистые экосистемы, расположенные за пределами сельскохозяйственных угодий и территории населенных пунктов: преимущественно придорожные фитоценозы и растительный покров балок и оврагов (рис. 5.8). Проективное покрытие цветущей растительности (*Cichorium intybus* L., *Centaurea cyanus* L., *Tanacetum vulgare* L., *Trifolium pratense* L., *Solidago virgaurea* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop. и др.) составляет 25–65%. Придорожная растительность раз в сезон подвергается кошению, присутствуют участки оголенной почвы.



Рисунок 5.8 – Участки категории «Травянистая растительность» на модельной территории

5. Водные объекты (0,2%). Основу гидрографической сети территории составляют мелеющие в летний период малые реки (рис. 4.1), которые практически не отражаются на карте земельного покрова, созданной на основе данных дистанционного зондирования. Водные объекты на карте земельного покрова модельной территории представлены преимущественно прудами, возникшими в результате запруды рек или вырытыми для накопления весенних вод, а также затопленными отработанными карьерами (рис. 5.9).



Рисунок 5.9 – Водные объекты (Венёвский район)

6. Прибрежная растительность (0,1%). В состав фитоценозов, сформировавшихся на берегах прудов и малых рек территории исследования (рис. 5.10), входит значительное количество видов нектаро- и пыльценосной растительности: древесной (например, ивы) и травянистой (вербейник обыкновенный, дербенник иволистный, лапчатка гусиная и др.). Цветущие ивы представляют собой важный источник пыльцы для вылетевших после зимовки шмелиных маток и весенних видов одиночных пчёл (Радченко, Песенко, 1994).



Рисунок 5.10 – Прибрежная растительность (август 2021)

Антропогенные экосистемы:

7. Пашня – полевые севообороты (20,7%). По результатам маршрутных исследований (2021–2024 гг.), полевые севообороты (рис. 5.11) на исследуемой территории включают пшеницу (яровую и озимую), яровой рапс, яровой ячмень и картофель. Рапс и картофель в фазе цветения представляют богатый кормовой ресурс для пчёл всех экологических групп (Попов, 2018), однако агротехника картофеля не требует перекрёстного опыления (за исключением селекции и семенного размножения). Для целей настоящей работы обилие энтомофильной растительности по месяцам рассчитывается как средний показатель за весь период ротации.



Рисунок 5.11 – Свежевспаханное поле (слева) и картофельное поле, август 2021 г.

8. Многолетние травы (3,2%). Во время полевых осмотров на полях модельной территории наблюдались посевы многолетних бобовых трав – люцерны серповидной (*Medicago falcata*) и клевера красного (*Trifolium pratense*) (рис. 5.12). Обе культуры являются хорошими медоносами (Бурмистров, Никитина, 1990). При этом нектарники клевера красного недоступны для пчёл с короткими хоботками (Мадебейкин, 2004), поэтому из диких пчёл данная культура посещается преимущественно шмелями. Травы посеяны сплошным способом без междурядий. В фазу массового цветения проективное покрытие энтомофильной растительности высоко, достигая 87%.



Рисунок 5.12 – Многолетние травы (июль 2022)

9. **Сельские населенные пункты (0,9%).** По наблюдениям автора и литературным данным (Ченикалова, 2005) в деревнях и поселках отмечается высокое разнообразие нектаро-пыльценосной растительности. Кормовая база пчёл складывается здесь из цветущих рудеральных растений по обочинам проселочных дорог (рис. 5.13) и на приусадебных участках (напр., осот полевой, одуванчик лекарственный, горошек мышиный, вьюнок полевой, василек луговой), пыльценосных деревьев (напр. липа мелколистная, клен остролистный, рябина обыкновенная, черемуха обыкновенная), плодово-ягодных насаждений (напр., яблоня, груша, слива, вишня, малина, ежевика), цветущих декоративных растений и овощных культур (напр., кабачок, огурец, тыква).



Рисунок 5.13 – Растительность сельских населенных пунктов

В сельских населённых пунктах отмечено широкое разнообразие субстратов, пригодных для гнездования различных групп пчёл. К их числу относятся: участки с хорошо прогреваемой почвой, полые стебли растений семейства Зонтичные (*Apiaceae*), дупла в старовозрастных деревьях, норы грызунов и иные крупные полости, а также отверстия в деревянных конструкциях заборов и построек.

10. Открытая поверхность почвы (0,7%), приуроченная преимущественно к отработанным и затопленным песчаным и известняковым карьерам (рис. 5.14). В прибрежной зоне присутствует энтомофильная растительность (проективное покрытие незначительно), а поверхность склонов пригодна для гнездования лишь немногих видов роющих пчёл, например *Colletes* (Левченко, 2010).



Рисунок 5.14 – Отработанный карьер (июль 2024)

11. Асфальтированные дороги и другие объекты с запечатанными почвами (0,5%). Очевидно, что асфальтированные дороги не представляют никакой ценности с точки зрения кормовых и гнездовых ресурсов для пчёл, хотя придорожные фитоценозы могут стать ценным местообитанием для пчёл (Andersson et al., 2017). Исследования также показывают, что широкие многополосные дороги становятся препятствием даже для тех пчёл, которые имеют физические возможности их перелететь (например, шмелей) (Muñoz et al., 2015; Fitch et al., 2021 и др.).

Результаты полевых исследований территории послужили источником данных для определения значений индикаторов, необходимых для параметризации таблицы земельного покрова (табл. 5.1). Параметризация осуществлялась в соответствии с принципами, изложенными в методическом разделе настоящей работы (4.3.1).

Таблица 5.1 – Таблица земельного покрова модельной территории

Класс земельного покрова	Доступность субстратов гнездования				Доступность цветущей энтомофильной растительности (по месяцам)				
	Готовые полости	Мертвая древесина	Открытые места	Почва	май	июнь	июль	август	сентябрь
1. Залежь луговая	0,40	0	0,90	0,20	0,45	0,60	0,60	0,40	0,20
2. Залежь лесная	0,35	0	0,90	0,30	0,30	0,45	0,45	0,35	0,15
3. Лес/ лесополоса	0,30	1	0,90	0,20	0,35	0,35	0,35	0,15	0,05
4. Травянистая растительность	0,40	0	0,90	0,20	0,45	0,60	0,60	0,35	0,15
5. Водные объекты	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Прибрежная растительность	0,40	1	0,90	0,30	0,50	0,40	0,40	0,20	0,10
7. Пашня	0,01	0	0,20	0,05	0,20	0,30	0,30	0,30	0,05
8. Многолетние травы	0,05	0	0,70	0,20	0,05	0,45	0,60	0,50	0,10
9. Застройка	0,30	0,20	0,70	0,30	0,40	0,40	0,40	0,15	0,05
10. Открытая поверхность почвы	0	0	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0
11. Дороги	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица гильдий

Отсутствие литературных данных по относительному обилию видов пчел, обитающих на территории Тульской области, обусловило необходимость проведения в рамках настоящего исследования количественных учетов пчёл на учетных площадках, заложенных на участках, относящихся к разным классам земельного покрова (рис. 5.15). Поскольку большая часть видов диких пчёл Венёвского района имеет короткий период активности, относительное обилие разных гильдий изменяется на протяжении вегетационного периода. Для целей данной работы оценка обилия проводилась в июле, в период цветения ярового рапса (полевые учёты – июль 2024). Общее количество учётных площадок – 13.

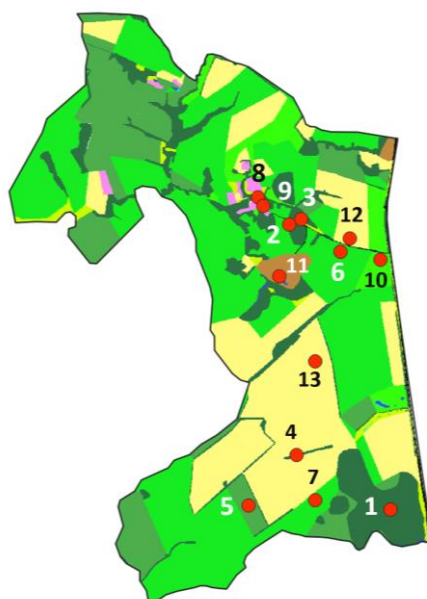


Рисунок 5.15– Местоположение учётных площадок для сбора на карте земельного покрова исследуемого агроландшафта

Сбор насекомых осуществлялся методами, применяемыми для учёта летающих перепончатокрылых (Дунаев, 1997; Дедюхин, 2011; Joshi et al., 2015).

1. Лов с использованием ловушек Мёрике. Энтомологическое оборудование: Ловушки Мёрике, представляющие собой желтые пластмассовые тарелки с мыльным раствором (Рис. 5.16), привлекающие преимущественно насекомых отрядов Diptera и Hymenoptera (Гребенников, 2015). В ловушки попадали исключительно пчёлы мелкого размера.

Ловушки устанавливались на земле на сутки три раза с 03.07.2024 по 06.07.2024.



Рис. 5.16 – Ловушки Мёрике, установленные в лесополосе и на залежи: слева — площадка 4, справа — площадка 2.

2. Кошение энтомологическим сачком, которое позволило отловить пчёл крупных размерных категорий. Энтомологическое оборудование: энтомологический сачок Naturaliste Pro Ф35КМ-620. На каждом классе земельного покрова (в разных точках) в течение трёх дней выполнялось по одному эпизоду кошения в сутки с количеством взмахов – 80. Отлов насекомых осуществлялся в разное время суток с последующим помещением их в емкости для последующей идентификации и подсчёта. В случаях, когда использование сачка оказывалось неприменимо (наличие физических препятствий или незначительное количество пчёл), проводился визуальный подсчёт особей без отлова.

Определение таксономической принадлежности отловленных особей проводилось до рода (по возможности) на основе данных определителей и морфологических признаков (размер тела, жилкование крыла, характер опушения и др.). В случаях, когда определение до рода оказалось невозможным (для трудноразличимых экземпляров), особи идентифицировались до уровня семейства. Для идентификации использовались следующие справочные ресурсы: печатные и электронные определители (Плавильщиков, 1994; Насекомые европейской части России, 2015; Michener, 2007; Красная книга Московской области, 2018) и данные платформы iNaturalist (URL: <https://www.inaturalist.org>).

Ниже представлены данные по числу учтённых особей (табл. 5.2). Показатели относительного обилия каждой гильдии, рассчитанные суммарно по всем классам земельного покрова, согласуются с приведенными в разделе 4.3.2 соображениями, основанными на литературных данных. Наибольшую относительную долю в сообществе диких пчёл в июле составляют гильдии шмелей и роющих социальных пчёл.

Таблица 5.2 – Данные по числу особей и относительное обилие гильдий

		Число особей по гильдиям							
Гильдии		I	II	III	IV	V	VI	VII	Итого по площадкам
Учетная площадка	Земельный покров								
1	Лес (чаща)	3	0	0	0	0	0	3	6
2	Лес (опушка)	27	9	7	0	5	2	22	72
3	Лес (опушка)	25	8	9	0	3	1	18	64
4	Лесополоса	9	12	16	0	6	2	23	68
5	Залежь лесная	23	3	9	0	7	2	19	63
6	Залежь луговая	23	5	22	0	17	8	30	105
7	Залежь луговая	26	6	19	2	21	11	28	113
8	Населенный пункт	32	22	17	0	19	10	31	131
9	Прибрежная растительность	17	0	14	0	4	0	17	52
10	Многолетние травы	31	0	18	0	23	12	23	107
11	Открытая поверхность почвы	9	0	2	0	2	0	0	13
12	Пашня (рапс)	18	2	14	2	10	11	19	76
13	Пашня (рапс)	15	1	15	1	12	9	21	74
Итого по гильдиям		258	68	162	5	129	68	254	944
Относительное обилие гильдии (%)		27,3	7,2	17,2	0,5	13,7	7,2	26,9	100%

Ниже представлена таблица гильдий (табл. 5.3), дополненная показателями относительного обилия, для использования в InVEST Crop Pollination.

Таблица 5.3 – Таблица гильдий

Гильдия	Субстрат гнездования				Активность по месяцам					Дальность полёта, м.	Обилие
	Готовые полости	Древесина	Открытые места	Почва	V	VI	VII	VIII	IX		
I Bombus	0	0	1	0	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	500	0,273
II Wood-nesting	0	1	0	0	0,05	0,30	0,30	0,30	0,05	300	0,072
III Cavity-nesting	1	0	0	0	0,05	0,35	0,35	0,2	0,05	200	0,172
IV Ground-solitary1	0	0	0	1	0,33	0,34	0,33	0	0	250	0,005
V Ground-solitary2	0	0	0	1	0	0,35	0,35	0,30	0	100	0,137
VI Ground-solitary3	0	0	0	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0	370	0,072
VII Ground-social	0	0	0	1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	400	0,269

5.2. Результаты оценки

Подготовленные входные данные – растровая карта земельного покрова, таблица земельного покрова и таблица гильдий – загружены в программу InVEST Crop Pollination. На их основе рассчитаны и визуализированы на карте модельной территории индексы источников опылителей и обилия опылителей (ИОО).

Распределение **индекса источников опылителей** по гильдиям пчел, отличающимся предпочитаемым субстратом гнездования, представлено на рис. 5.17. Установлено, что модельная территория в наибольшей степени обеспечивает поддержание популяций шмелей (рис. 5.17а). В то же время площадь местообитаний, пригодных для гнездования немногочисленных представленных на территории видов пчёл, связанных с мертвой древесиной, сравнительно невелика (рис. 5.17d).

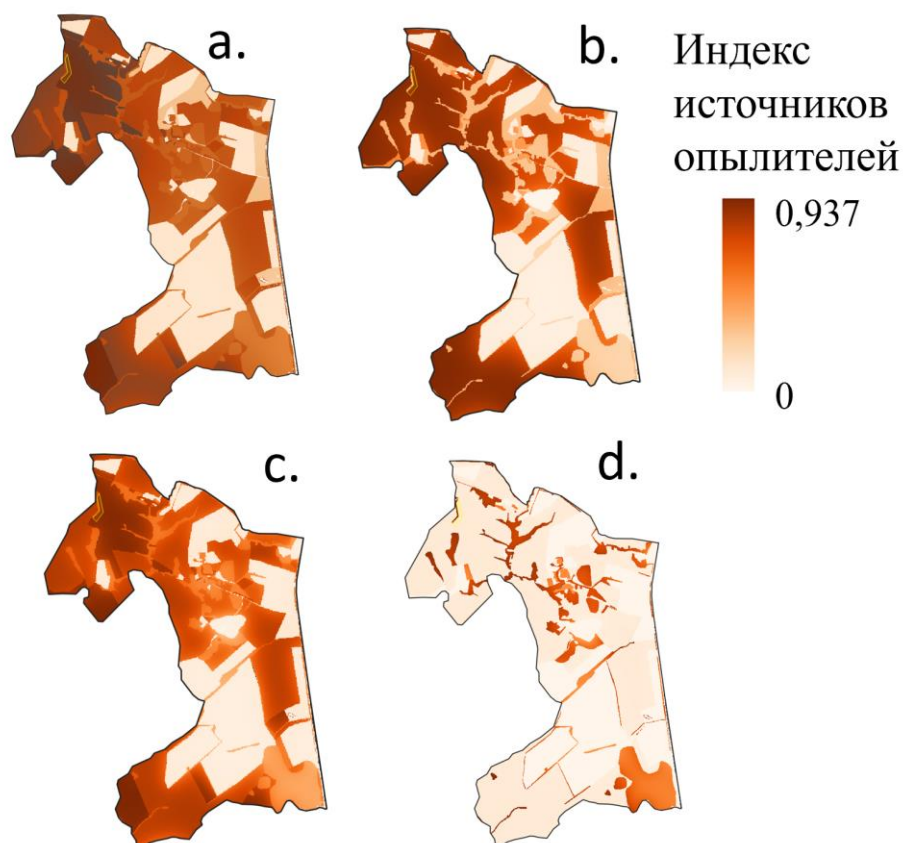


Рисунок 5.17. Индекс источников опылителей для гильдий, различающихся по субстрату гнездования: а) шмели (гильдия I), б) роющие пчёлы (гильдия VII), с) пчёлы, гнездящиеся в готовых полостях (гильдия III), d) пчёлы, гнездящиеся в мертвой древесине (гильдия II).

Анализ пространственного распределения индекса источников опылителей позволяет идентифицировать типы земельного покрова, представляющие наибольшую ценность в качестве местообитаний диких пчел. Максимальные значения индекса характерны для природных травянистых экосистем. В первую очередь к ним относятся залежи, находящиеся на луговой стадии сукцессии (среднее значение индекса – 0,893), которые обеспечивают оптимальные условия для гнездования и отличаются продолжительным периодом цветения. Залежи на первой лесной стадии сукцессии также выступают важным резерватом опылителей (среднее значение индекса – 0,811), что обусловлено мозаичностью их растительного покрова.

В свою очередь, пахотные земли, где средние значения индекса источников опылителей не превышают 0,150, выступают реципиентами экосистемной услуги опыления, получая опылителей из прилегающих природных местообитаний.

Низкая ценность пахотных угодий как источников опылителей объясняется тем, что ключевым фактором, определяющим пригодность территории для обитания опылителей, является наличие подходящего субстрата для гнездования. Интенсивная сельскохозяйственная деятельность нарушает эти условия: регулярная распашка перемешивает почву в пределах пахотного горизонта, что делает невозможным формирование многолетних гнездовых агрегаций одиночных земляных пчёл; удаление растительных остатков лишает пчёл сухих полых стеблей, пригодных для гнездования; древесный субстрат, необходимый для некоторых видов, на полях, как правило, отсутствует.

Индекс источников опылителей определяет пространственное распределение экосистемной услуги опыления в агроландшафте, индикатором которой служит индекс обилия опылителей (ИОО). Карта распределения ИОО (рис. 5.18) отражает смоделированную обеспеченность агроландшафта опылением в июле, в период массового цветения ярового рапса. Визуальный анализ карты выявляет четкий контраст между пахотными землями и естественными экосистемами сопоставимой площади – залежами на разных стадиях сукцессии и лесными массивами. Значения индекса варьируют от 0 на полностью непригодных для пчёл участках (асфальтированные дороги, водные объекты) до 0,309 на залежах луговой стадии постагрогенной сукцессии.

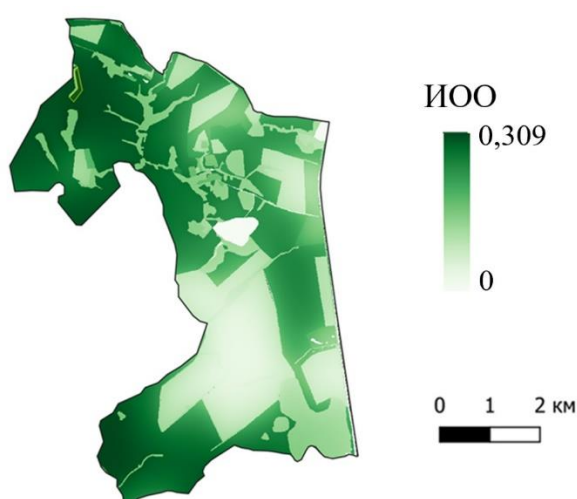


Рисунок 5.18 – Распределение ИОО в агроландшафте (июль, составлено в QGIS)

Значение ИОО для каждой пространственной единицы зависит не только от класса земельного покрова, к которому она относится, но и от её площади и характеристик окружающих угодий. Тем не менее анализ средних пиксельных значений индекса позволяет оценить потенциал экосистемной услуги опыления для каждого класса в целом. Согласно данным табл. 5.4, пахотные угодья по уровню обеспеченности опылением значительно уступают естественным травянистым и лесным экосистемам. При этом высокие средние значения ИОО характерны для залежных земель – как на луговой, так и на лесной стадиях сукцессии.

Таблица 5.4 – Средние значения ИОО для разных классов земельного покрова

Класс земельного покрова	ИОО среднее
Залежь луговая	0,276
Травянистая растительность	0,263
Залежь лесная	0,258
Прибрежная растительность	0,217
Многолетние травы	0,197
Населенные пункты	0,164
Лес/ лесополоса	0,138
Пашня	0,074
Открытая поверхность почвы	0,021
Водные объекты	0
Дороги	0

В границах пахотных земель наблюдается заложенное в модели Лонсдорфа экспоненциальное снижение значений ИОО по направлению от краев полей к их центру в диапазоне от 0,124 до 0,033. Пиксели пашни, удаленные от границ с природными угодьями на расстояние более 500 м, характеризуются минимальными значениями ИОО и, следовательно, наименьшей обеспеченностью опылением. Наилучшие условия для опыления складываются на небольших по площади полях, окруженных естественными экосистемами.

5.3. Использование результатов оценки в управлении землепользованием на внутрихозяйственном уровне

Проведенный анализ демонстрирует, что моделирование состояния экосистемной функции опыления по методике Лонсдорфа позволяет выявить ценные участки – источники опылителей, а также определить потенциальный объем экосистемной услуги опыления, получаемый сельскохозяйственными угодьями. Применяемая методика дает возможность учитывать даже небольшие по площади участки и открывает перспективы для целенаправленного управления экосистемной услугой опыления в условиях, когда проведение масштабных изменений в рамках территориального планирования затруднено или недоступно. Полученная информация позволяет не только выбирать поля с наилучшими условиями опыления при размещении севооборотов с энтомофильными культурами, но и моделировать эффект от планируемых управленческих решений. К числу таких мер, направленных на формирование экологического каркаса территории, относится, например, создание лесополос и цветущих полос из энтомофильной растительности (раздел 2.2.1).

Если на внутрихозяйственном уровне возможны изменения в территориальном планировании, применение модели Лонсдорфа позволит сравнить различные сценарии развития территории и оценить эффективность предлагаемых к использованию инструментов с точки зрения их влияния на опыление сельхозугодий. Пример реализации такого анализа сценариев рассматривается ниже на материалах модельного ландшафта.

Моделирование индекса источников опыления (раздел 5.2) показало, что залежные земли служат наиболее ценными источниками опыления для соседних пахотных угодий. Однако залежи располагаются на сельскохозяйственных землях и занимают площади, предполагающие иное целевое использование. Согласно региональной программе развития сельского хозяйства Тульской области, вовлечение в оборот неиспользуемых сельхозземель – приоритетная задача (Региональный доклад..., 2024). Целевой показатель возвращения неиспользуемых

земель, относящихся к категории «Для сельскохозяйственного производства», в оборот составляет 90%.

В связи с этим интерес представляет оценка состояния экосистемной услуги опыления при гипотетическом введении в оборот всех необрабатываемых в настоящее время земель. Карта земельного покрова для этого сценария приведена на рис. 5.19b: доля пашни в структуре использования земель возрастает с 21% до 79%.

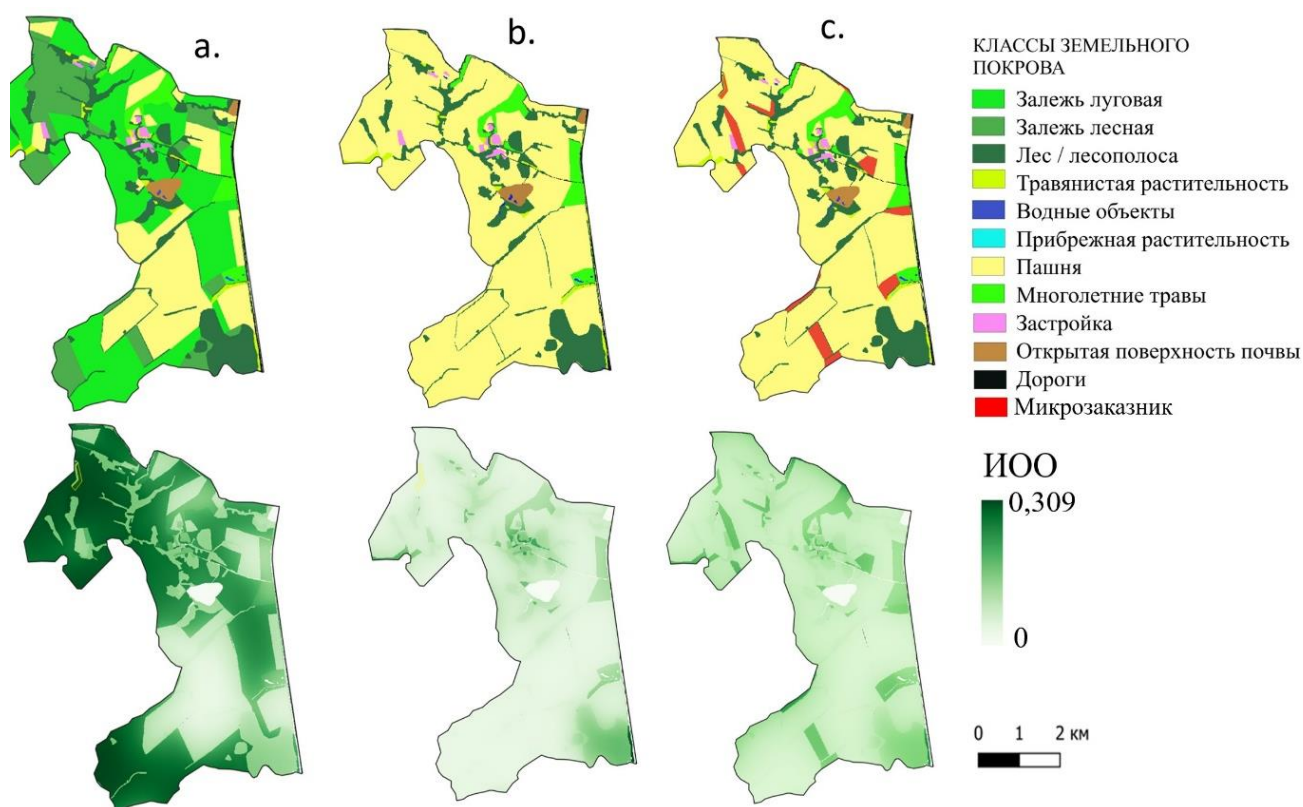


Рисунок 5.19 **а.** земельного покрова (сверху) и распределения ИОО (снизу) при текущей структуре землепользования (на 2023 г.); **б.** земельный покров (сверху) и ИОО (снизу) при реализации сценария ввода в оборот всех залежных земель; **с.** земельного покрова при сценарии превращения части залежных земель в энтомологические микрозаказники (выделены красным) и карта ИОО при данном сценарии.

Вовлечение залежных земель в сельскохозяйственный оборот резко увеличивает площадь пашни в пределах исследуемого агроландшафта. Однако трансформация залежей в пашню уничтожает источники кормовых и гнездовых ресурсов, что снижает обеспеченность сельхозугодий опылением. В этом сценарии минимальное значение ИОО на пашне приближается к нулю (0,009), то есть для

отдельных пикселей в пределах класса «Пашня» опыление практически отсутствует. Распределение значений ИОО на пашне при данном сценарии смещено влево (рис. 5.20): бóльшая часть пикселей пашни характеризуется низкими показателями ИОО. Среднее значение ИОО при распашке залежей снижается с 0,074 до 0,021. Кроме того, уменьшается разброс значений индекса: стандартное отклонение сокращается с 0,026 до 0,008 (табл. 5.5).

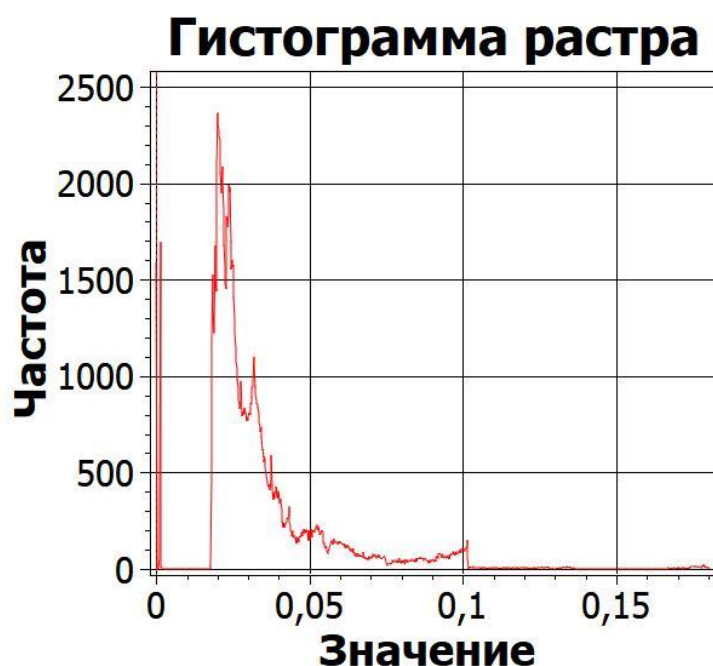


Рисунок 5.20. Распределение ИОО на пашне при вводе в оборот всех залежей
(Составлено в QGIS, гистограмма рассеяния).

Учитывая высокую ценность залежей как источников опыления, для поддержания экосистемной услуги в агроландшафте целесообразно сохранить их небольшую долю в статусе энтомологических микрозаказников (раздел 2.2.1). Один из возможных вариантов размещения таких микрозаказников на модельной территории показан на рис. 5.19с. В этом сценарии к сохранению предлагаются участки залежей, распашка которых (как в сценарии на рис. 5.19b) привела бы к падению ИОО до значений, близких к нулю. Реализация такого подхода сокращает долю пашни с 79% до 75%.

Анализ статистических показателей (табл. 5.5) показывает, что создание микрозаказников при незначительном сокращении площади пашни повышает

основные характеристики распределения ИОО. Минимальное значение индекса при этом приближается к показателю текущего сценария с высокой долей залежей.

Таблица 5.5 – Статистические показатели ИОО на пашне при различных сценариях использования залежных земель

Сценарий землепользования	Текущая ситуация	100% введение залежей в оборот	Создание микро-заказников
Доля пашни (%)	20,7	78,8	74,7
ИОО – максимум	0,124	0,074	0,081
ИОО – среднее	0,074	0,021	0,048
ИОО – минимум	0,033	0,009	0,023
ИОО – ст. отклонение (σ)	0,026	0,008	0,016

Методика Лонсдорфа позволяет проводить анализ в разрезе отдельных гильдий опылителей, что актуально, когда эффективное опыление конкретных энтомофильных культур обеспечивается лишь определенными видами пчел. Так, поскольку основной гильдией опылителей красного клевера являются шмели, для оценки обеспеченности клеверных полей целесообразно моделировать не обилие пчёл в целом, а индекс обилия шмелей (рис. 5.21). При текущей структуре землепользования среднее значение ИОО для данной гильдии составляет 0,036. При ликвидации залежей оно снижается до 0,014, а при создании микрозаказников среди пахотных угодий возрастает до 0,021. Таким образом, организация микрозаказников способствует увеличению потенциала опыления полей культурами, опыляемыми преимущественно шмелями.



Рисунок 5.21. Карта распределения индекса обилия гильдии BOMBUS а. при текущей структуре землепользования (на 2023 г.); б. при реализации сценария ввода в оборот всех залежных земель; с. при сценарии превращения части залежных земель в энтомологические микрозаказники.

Проведенная крупномасштабная оценка обеспеченности сельскохозяйственных угодий опылением позволила выявить классы земельного покрова, представляющие наибольшую ценность в качестве источников опылителей для полей, занятых энтомофильными культурами. Установлено, что наилучшими условиями для обитания диких пчёл обладают необрабатываемые земли, находящиеся на луговой стадии постагрогенной сукцессии. Сравнение альтернативных сценариев использования залежей показало, что при вовлечении неиспользуемых сельскохозяйственных земель в оборот целесообразно сохранять часть луговых залежей в качестве энтомологических микрозаказников. Данная мера выступает эффективным инструментом укрепления экологического каркаса агроландшафта. Ее главное преимущество заключается в низкой стоимости реализации, поскольку она не требует создания новых элементов экологического каркаса, а предполагает сохранение уже существующих и функционирующих.

ГЛАВА 6. ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМНОЙ УСЛУГИ ОПЫЛЕНИЯ НА МУНИЦИПАЛЬНОМ УРОВНЕ

Управление сельскохозяйственным землепользованием в Российской Федерации осуществляется преимущественно в границах административно-территориальных образований, что определяет необходимость их включения в систему экосистемного учета (Экосистемные услуги России, т. 2, 2020). Проведенная на крупномасштабном уровне оценка состояния экосистемной функции опыления при различных сценариях землепользования позволила установить его зависимость от характеристик земельного покрова. Выявленная закономерность дает основание предположить, что аналогичная взаимосвязь прослеживается и на муниципальном уровне, а именно: структура земельного покрова выступает значимым фактором, определяющим состояние экосистемной функции опыления энтомофильных сельскохозяйственных культур в границах муниципального района.

Согласно рекомендациям, представленным в томе 2 доклада «Экосистемные услуги России...» (2020), учет экосистемных услуг в разрезе административных единиц целесообразно строить на основе расчета вкладов различных типов ландшафтов в общую территорию. Однако применительно к оценкам для муниципальных районов (предполагающим дифференцированный анализ всех агроландшафтов в границах района, см. раздел 2.2.2) такой подход характеризуется высокой трудоемкостью, а вопросы интеграции получаемых результатов в настоящий момент не имеют достаточной методической проработки. В то же время относительная однородность Венёвского района по климатическим условиям делает обоснованным применение для оценки обеспеченности местных сельскохозяйственных угодий опылением программы InVEST Crop Pollination. При этом использование данной модели на территории большой площади требует корректировки входных данных.

6.1. Входные данные

Оценка экосистемной услуги опыления в целях экосистемного учета на муниципальном уровне не требует той степени детализации, которая необходима для управления опылением сельхозкультур в границах отдельных хозяйств. В связи с этим на рассматриваемом уровне представляется допустимым использование готовых карт земельного покрова, содержащих ограниченный набор обобщенных классов. Использование усредненных параметров для данных классов позволяет при проведении оценки выявить общие закономерности пространственного распределения экосистемной услуги опыления на территории значительной площади.

Наиболее детализированными открытыми данными дистанционного зондирования Земли, пригодными для создания карт земельного покрова, являются снимки со спутников семейства Sentinel-2 (Европейское космическое агентство). Съемка осуществляется в 13 спектральных каналах с пространственным разрешением от 10 до 60 метров. Снимки Sentinel-2 лежат в основе глобальной карты землепользования и земельного покрова на 2017–2024 гг. (<https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>), выпускаемой компанией Esri в сотрудничестве с Impact Observatory. Картографирование земельного покрова в рамках данного проекта осуществляется с помощью алгоритмов машинного обучения. Карты разрешением 10 м. доступны на годовой основе.

В работе использованы фрагменты глобальной карты землепользования и земельного покрова за 2017 и 2023 гг. (рис. 6.1). При постобработке на карты нанесены дороги федерального, регионального и межмуниципального значения.

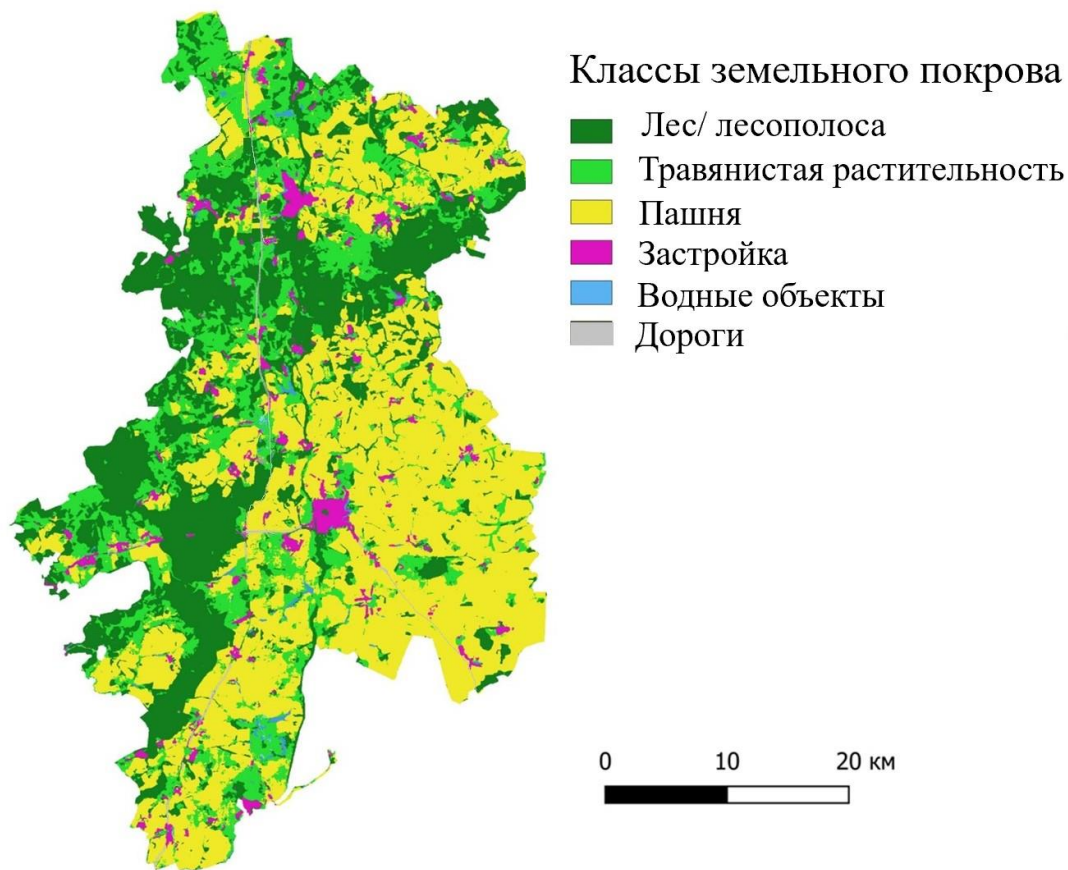


Рисунок 6.1 – Венёвский район: земельный покров (2023 г.)

Классы земельного покрова, выявленные по данным дистанционного зондирования, как уже было отмечено, имеют усредненные характеристики. Так, на используемой карте полевые и кормовые севообороты с многолетними травами объединены в единый класс «Пашня». Аналогичным образом категория «Травянистая растительность» включает фитоценозы, существенно различающиеся по видовому составу. Как показывают авторские маршрутные исследования, в данную категорию попадают как сформировавшиеся на залежах монодоминантные вейниковые луга, так и разнотравные луговые сообщества, с высоким проективным покрытием цветущей энтомофильной растительности на протяжении всего теплого сезона.

Категория «Лес» также неоднородна по составу древостоя: в нее включаются как земли лесного фонда, так и залежи на 1-й лесной стадии сукцессии, а также лесополосы и прибрежную древесную растительность. Как следствие,

внутри данной категории доступность кормовых ресурсов для насекомых-опылителей существенно варьирует. В частности, лесные массивы с преобладанием в древостое мелколиственных пород (береза, осина) значительно уступают по показателям нектаро- и пыльцепродуктивности широколиственным лесам с



Рисунок 6.2 – Широколиственный лес
(июль 2024)

участием дуба черешчатого, липы мелколистной и клена остролистного (Бурмистров, Никитина, 1990).

На карте земельного покрова Венёвского района (рис. 6.1) представлены шесть классов (перечислены в порядке убывания их доли в общей площади района): пашня, лес/лесополоса, травянистая растительность, застройка (населенные пункты), водные объекты и асфальтированные дороги. Преобладающим по площади классом земельного покрова является пашня, что подтверждает аграрную специализацию района.

При параметризации **таблицы земельного покрова** применительно к обобщенным классам как и при крупномасштабном анализе был использован подход, описанный в разделе 4.2. Проективное покрытие цветущей растительности и доступность субстратов гнездования устанавливались в ходе проведенных автором маршрутных и геоботанических исследований в разных частях Венёвского района (см. табл. 4.2). Всего за время полевых выездов было выполнено 32 геоботанических описания предварительно выбранных залежных фитоценозов и 26 геоботанических описаний природных экосистем (лесные фитоценозы, прибрежная растительность, придорожные фитоценозы) (рис. 6.3). Указанное количество включает описания, выполненные на модельной территории для крупномасштабной оценки (см. главу 5). Выборочные геоботанические описания

пробных площадок, заложенных на залежных землях Венёвского района, приведены в Приложении III.

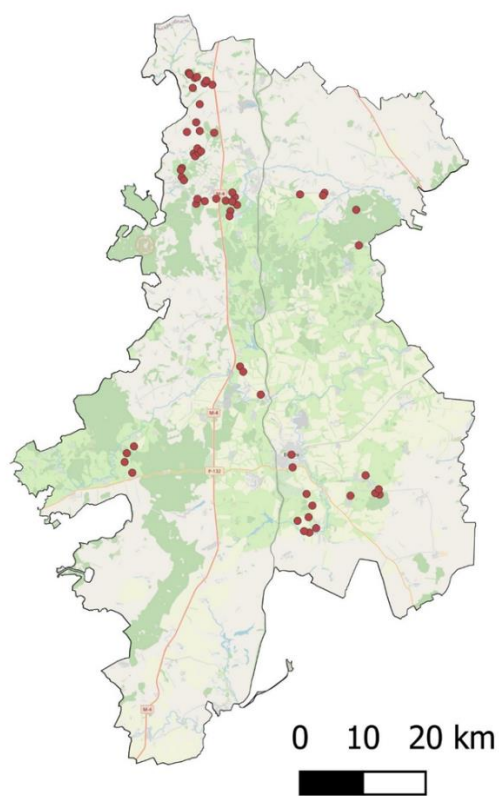


Рисунок 6.3 – Расположение учетных площадок для геоботанических исследований на карте Венёвского района

Присвоение параметров обобщённым классам земельного покрова имело ряд особенностей. Значения проективного покрытия цветущей растительности и параметра доступности субстратов гнездования для класса «Травянистая растительность» определялись как средние величины по различным типам травянистых фитоценозов: залежи на луговой стадии сукцессии, сенокосы, придорожные полосы, луга. Аналогичный подход применялся и к классу «Древесная растительность»: для него рассчитывались средневзвешенные значения представленных на территории широколиственных и мелколиственных лесных массивов. В табл. 6.1 приведена таблица земельного покрова для оценки на муниципальном уровне, содержащая данные по доступности кормовых ресурсов за июль – месяц, на который проводится оценка.

Таблица 6.1 – Таблица земельного покрова

Класс земельного покрова	Доступность субстратов гнездования				Цветущая растительность (июль)
	Готовые полости	Мертвая древесина	Открытые места	Почва	
Древесная растительность	0,40	1	0,90	0,20	0,35
Травянистая растительность	0,40	0	0,90	0,30	0,45
Пашня	0,01	0	0,20	0,05	0,30
Населенные пункты	0,30	0,20	0,50	0,30	0,40
Водные объекты	0	0	0	0	0
Дороги	0	0	0	0	0

Для оценки состояния экосистемной функции опыления на муниципальном уровне использована **таблица гильдий**, приведенная в разделе 5.1. настоящей работы.

6.2. Результаты оценки

Подготовленные входные данные (раздел 6.1), были загружены в программу InVEST Crop Pollination для последующего расчета основных индексов.

Сравнительный анализ классов земельного покрова как местообитаний пчел-опылителей (среднее значение индекса источников опылителей) подтверждает закономерности, выявленные на крупномасштабном уровне. В частности, на муниципальном уровне ключевым источником опыления так же выступают травянистые экосистемы. На рис. 6.4 представлена карта источников опылителей для наиболее обильно представленной гильдии шмелей – эффективных диких опылителей с высокой численностью и наибольшим радиусом фуражировочных полётов. Анализ карты показывает, что местообитаниями, из которых шмели распространяются по территории в процессе фуражировки, являются природные экосистемы: луга, залежи на разных стадиях сукцессии и древесные экосистемы (в первую очередь, лесные опушки и лесополосы). Пахотные угодья в силу ограниченности пригодных для гнездования шмелей субстратов, выступают реципиентами экосистемной услуги опыления.

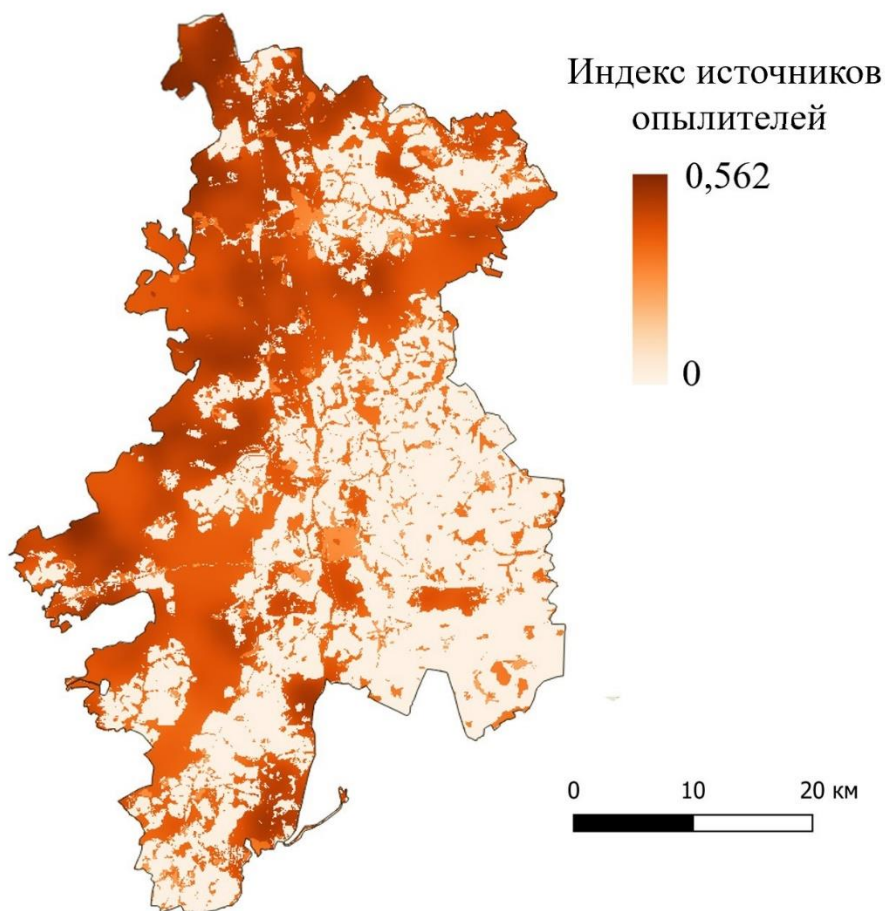


Рисунок 6.4 – Индекс источников опылителей для гильдии *Vombus* (2023 г.)

Распределение потенциала экосистемной услуги опыления (ИОО) по территории Венёвского района (рис. 6.5) подтверждает закономерности, выявленные на крупномасштабном уровне: обеспеченность экосистемной услугой опыления естественных экосистем – участков, покрытых древесной и травянистой растительностью, значительно превышает соответствующий показатель для пахотных угодий.

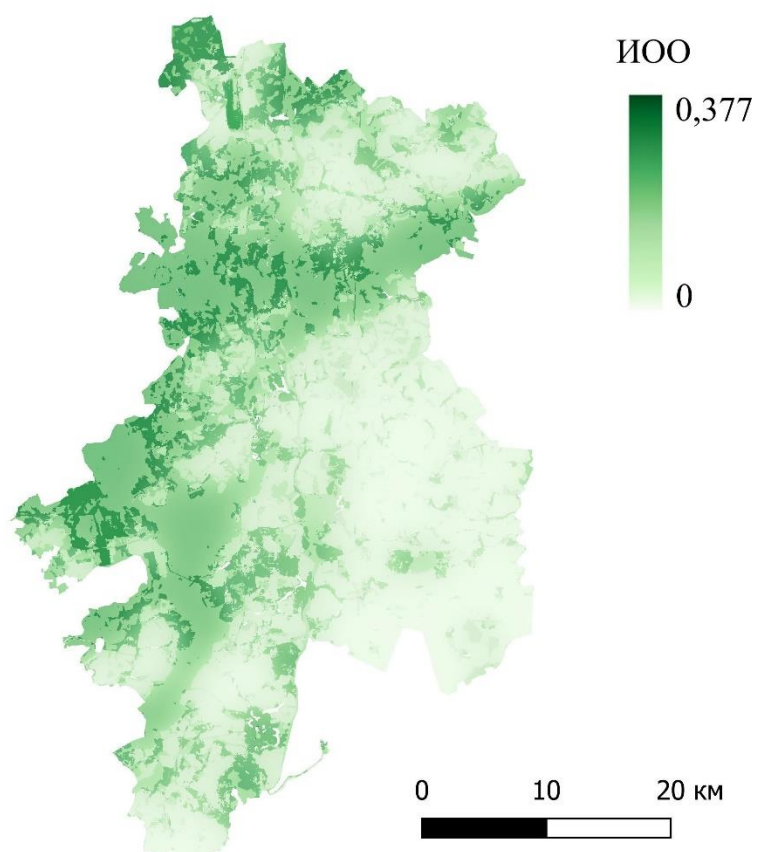


Рисунок 6.5 – Распределение ИОО на территории Венёвского района

Влияние структуры земельного покрова на обеспеченность сельхозугодий опылением на муниципальном уровне можно проследить через динамику среднего показателя ИОО на пашне. Для этого проведем сравнение потенциала опыления при текущей территориальной структуре (по состоянию на 2023 г.) и ретроспективной (2017 г.), для которой использована наиболее ранняя из доступных карт земельного покрова Esri Landcover (рис. 6.6).

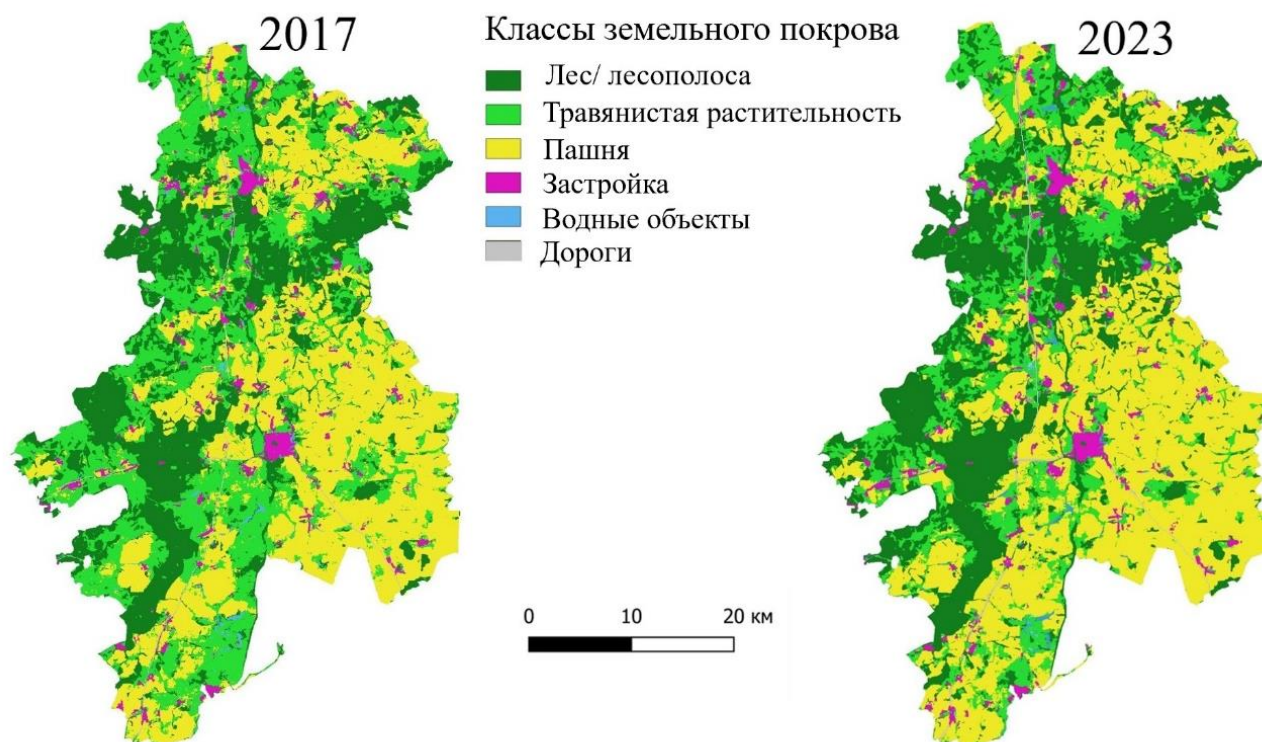


Рисунок 6.6 – Земельный покров Венёвского района 2017, 2023 гг.

Анализ динамики землепользования Венёвского района за период с 2017 по 2023 гг. выявил существенные изменения в площадных соотношениях основных типов земельного покрова (табл. 6.2). Увеличение доли пахотных угодий с 38,6% до 46,7% свидетельствует об интенсификации сельскохозяйственного освоения территории, которая по всей видимости была достигнута за счет вовлечения в оборот неиспользуемых сельхозугодий, на которых сформировались луговые фитоценозы. Это подтверждается выраженной отрицательной динамикой площадей под травянистой растительностью: ее доля сократилась более чем в 1,7 раза (с 30,5% до 17,8%). Наблюдаемый рост лесных площадей, доля которых за 6 лет возросла с 27,2% до 31,1%, может указывать на естественные сукцессионные процессы на сохранившихся залежах, выражающиеся в переходе от луговой стадии к 1-й лесной.

Таблица 6.2 – Доли основных классов в структуре земельного покрова

	2017	2023
Пашня	38,6%	46,7%
Лес	27,2%	31,1%
Травянистая растительность	30,5%	17,8%

Распределение смоделированного ИОО в период массового цветения энтомофильных культур (июль 2017 и 2023 гг.) представлено на рис. 6.7.

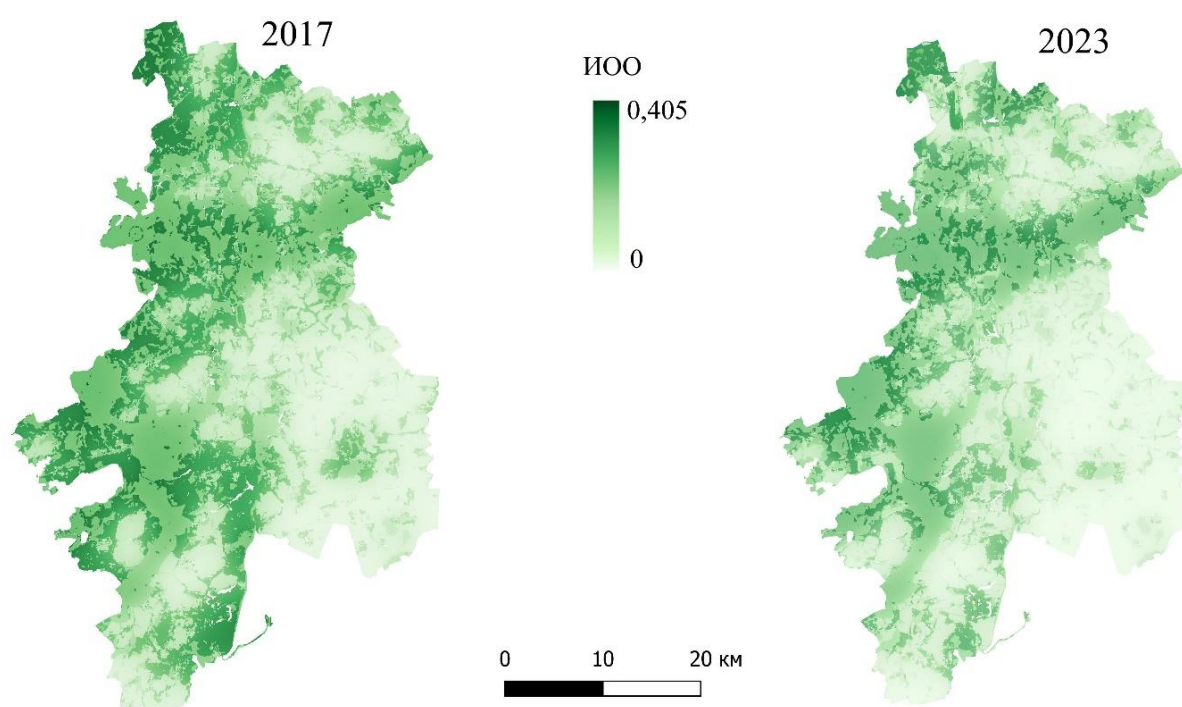


Рисунок 6.7 – Распределение ИОО на пахотных угодьях района 2017, 2023 гг.

Анализ динамики ИОО за период 2017–2023 гг. (табл. 6.3) выявил существенное снижение обеспеченности пахотных угодий опылением: среднее значение индекса сократилось на 17% (с 0,041 до 0,034). Статистическая значимость выявленных различий подтверждена результатами U-критерия Манна–Уитни ($p < 0,05$), что свидетельствует о достоверно более высокой обеспеченности сельскохозяйственных угодий опылением в 2017 г. по сравнению с 2023 г.

Таблица 6.3 – Статистические показатели распределения ИОО на пашне

	2017	2023
ИОО максимум	0,165	0,093
ИОО среднее	0,041	0,034
ИОО минимум	0,022	0,015
ИОО ст. откл. (σ)	0,015	0,010

Проведенный анализ позволяет установить взаимосвязь между структурой использования земель и обеспеченностью сельхозугодий опылением на муниципальном уровне. Сокращение доли травянистых экосистем, выступающих основными источниками опылителей на территории Венёвского района, обусловленное вовлечением необрабатываемых земель в сельскохозяйственный оборот в течение последних шести лет, явилось вероятной причиной снижения среднего показателя ИОО на полях.

6.3. Использование результатов оценки для управления землепользованием на муниципальном уровне

Значительная площадь анализируемой территории и неравномерное пространственное распределение земель категории «Пашня» в ее пределах (2023 г., рис. 6.1) позволяют предположить неоднородный характер обеспеченности полей опылением в границах района. На рисунке 6.8 отображено распределение ИОО на пахотных угодьях Венёвского района (остальные классы земельного покрова для наглядности скрыты). Анализ карты показывает, что наиболее светлые участки (с наименьшим ИОО) сосредоточены на юго-востоке района, для которого характерна максимальная степень распаханности. В то же время поля, граничащие с массивами естественной растительности, обеспечены экосистемной услугой опыления значительно лучше.

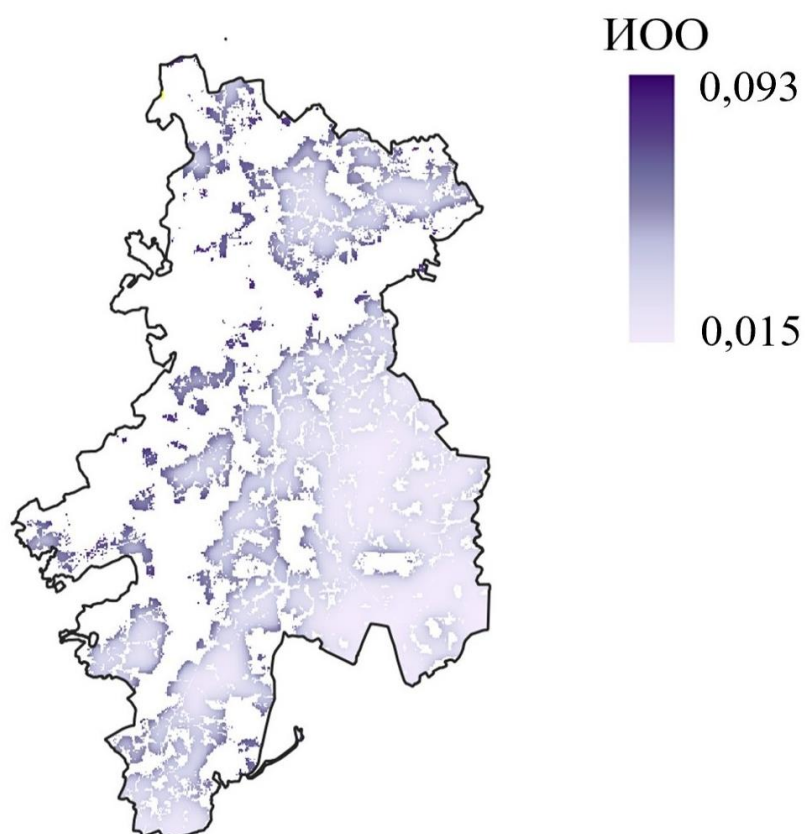


Рисунок 6.8 – Распределение ИОО на сельхозугодьях Венёвского района (2023 г.)

Неравномерность распределения ИОО на пахотных землях Венёвского района позволяет сформулировать гипотезу о наличии статистически значимых территориальных неоднородностей. Для ее проверки пространственные данные о распределении ИОО были подвергнуты кластерному анализу. Кластеризация позволяет разделить территорию на географически компактные зоны, максимизируя однородность значений ИОО внутри каждого кластера. Поскольку территория Венёвского района охватывает два физико-географических района, различающихся по типу растительности и почвенным характеристикам, число кластеров было задано равным двум. Кластеризация выполнена с использованием алгоритма k-средних (k-means). Выбор метода обусловлен его способностью формировать компактные кластеры, а также возможностью задать заранее известное число кластеров. Влияние выбросов на результаты было снижено путём визуальной верификации пространственной однородности кластеров. Расчёты проведены с помощью модуля ОТВ (Orfeo Toolbox) в среде QGIS. Результаты кластеризации представлены на рис. 6.9.

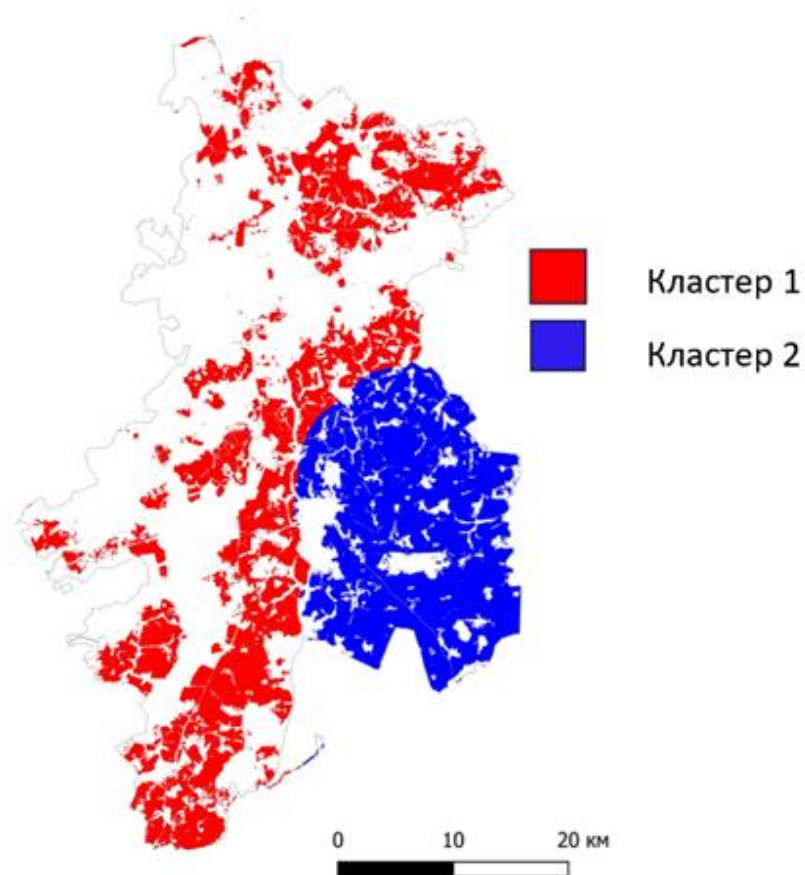


Рисунок 6.9 – Кластеризация ИОО на полях Венёвского района

Кластер 1, занимающий 64% площади района, охватывает почти всю его территорию, принадлежащую подзоне широколиственных лесов, а также часть лесостепной зоны, где сохранились широколиственные лесные массивы. Кластер 2, на который приходится 34% площади, расположен преимущественно в лесостепной зоне. Его территория приурочена к наиболее плодородным в районе оподзоленным чернозёмам и характеризуется максимальной степенью распаханности. Статистические показатели для двух кластеров приведены в табл. 6.4. Среднее значение ИОО на пашне в Кластере 1 составляет 0,048, что выше, чем в Кластере 2 (0,025).

Таблица 6.4 – Статистические показатели распределения ИОО на пашне кластеров

	Кластер 1	Кластер 2
ИОО максимум	0,093	0,076
ИОО среднее	0,048	0,025
ИОО минимум	0,021	0,015
ИОО ст. откл. (σ)	0,014	0,008

Для оценки достоверности различий с учетом ненормального (асимметричного) распределения данных (рис. 6.10) применялся критерий Манна-Уитни (Hettmansperger, McKean, 1998). Расчеты выполнены с использованием надстройки XLSTAT для Microsoft Excel. Результаты теста свидетельствуют о наличии статистически значимых различий в распределениях значений ИОО между выделенными кластерами ($p < 0,05$). Выявленные различия позволяют заключить, что Кластер 1 характеризуется более высокой обеспеченностью опылением полей по сравнению с Кластером 2.

Наличие статистически значимых межкластерных различий дает основание полагать, что они связаны с особенностями пространственной структуры землепользования в каждом из кластеров. Поскольку структура земельного покрова является объектом муниципального управления и представляет ключевой

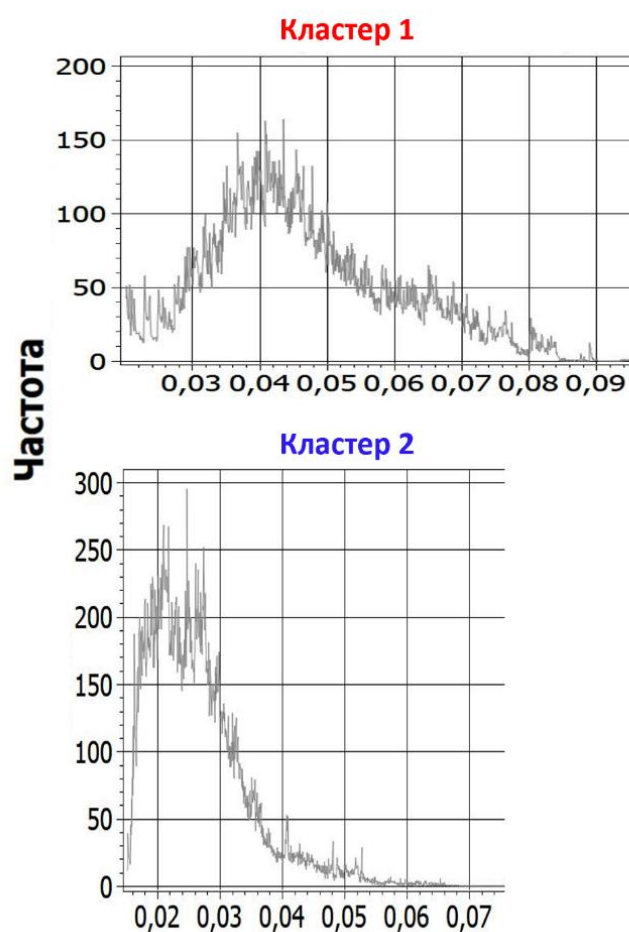


Рисунок 6.10. Частотное распределение ИОО на полях по кластерам

интерес в рамках настоящего исследования, возникает необходимость в ее детальном анализе в разрезе выделенных кластеров.

Нарушение структуры естественного ландшафта, связанное с его антропогенным освоением, выражается в двух взаимосвязанных процессах, влияющих на устойчивое существование популяций диких опылителей: сокращении площади и фрагментации их важнейших местообитаний — природных экосистем (Hadley, Betts, 2012). Латеральная структура агроландшафта исследуется с помощью различных ландшафтных метрик — количественных показателей композиции и конфигурации ландшафтов (McGarigal et al., 2002). Использование функций пространственного анализа позволит провести сравнение пространственной организации кластеров, выделенных в предыдущем разделе. Для проведения пространственного анализа в настоящей работе использовался модуль LecoS, основанный на метриках FRAGSTATS (Jung, 2016) (табл. 6.5).

Таблица 6.5 – Метрики композиции и конфигурации кластеров 1 и 2.

	Ландшафтные метрики (FRAGSTAT)	Кластер 1	Кластер 2
Метрики композиции	Доля в ландшафте (PLAND) – П	33,3%	79,1%
	Доля в ландшафте (PLAND) – Д	37,7%	8,0%
	Доля в ландшафте (PLAND) – Т	24,7%	8,8%
	Индекс разнообразия Шеннона (SHDI)	1,25	0,76
Метрики конфигурации	Число участков (NP) – П	3809	913
	Число участков (NP) – Д	3089	1010
	Число участков (NP) – Т	5389	1683
	Средняя площадь участка (MPA), км ² – П	5,3	15,3
	Средняя площадь участка (MPA), км ² – Д	14,9	3,0
	Средняя площадь участка (MPA), км ² – Т	5,7	2,0
	Индекс разделения ландшафта (DIVI) – П	0,99	0,62
	Индекс разделения ландшафта (DIVI) – Д	0,98	1
Индекс разделения ландшафта (DIVI) – Т	0,99	1	

В таблице 6.5 приведены ландшафтные метрики Кластеров 1 и 2, рассчитанные для трех основных классов земельного покрова Венёвского района: пашни (П) и двух классов естественных экосистем – источников опылителей: территорий, покрытых древесной растительностью (Д), и травянистых экосистем (Т).

Как показывают исследования, обеспеченность опылением полей с энтомофильными культурами на ландшафтном уровне определяется его композицией — то есть разнообразием классов земельного покрова и соотношением их площадей (Eckroos, 2015). Несмотря на то что количество таких классов на территории выделенных кластеров в Венёвском районе одинаково, процентное соотношение площадей между ними существенно различается.

Результаты настоящего исследования согласуются с данными Rahimi et al. (2021b), которые показали прямую зависимость ИОО на полях от доли естественных экосистем в ландшафте. Это подтверждается пространственным анализом кластеров: Кластер 1 с более высоким ИОО характеризуется сбалансированным соотношением пахотных земель, лесов и лугов. В то же время в Кластере 2, где пашня занимает 79% территории, а доля лесных и луговых участков не превышает 9% каждый (табл. 6.4), значения индекса значительно ниже.

В качестве интегральной композиционной метрики ландшафта целесообразно использовать индекс разнообразия Шеннона, указывающий на обилие представленных классов земельного покрова и пропорциональность распределения площади между различными классами (Колбовский, 2022). Для кластера 1 значение индекса Шеннона выше, что вполне соотносится с более равномерным распределением долей основных типов угодий (пашня, древесные и травянистые фитоценозы) на его территории. Высокое значение индекса разнообразия Шеннона для Кластера 1 свидетельствует о более высоком уровне экологической устойчивости ландшафта (Landis, 2017) и доступности разнообразных местообитаний для диких пчёл (Gutiérrez-Briceño et al., 2023).

Вопрос о влиянии фрагментации естественных местообитаний на обилие опылителей на полях на ландшафтном уровне в настоящее время является

дискуссионным, и анализ проведённых исследований этой проблемы не позволяет прийти к однозначному выводу (Hadley, Betts, 2012). Тем не менее сравнение Кластеров 1 и 2 с точки зрения конфигурации ландшафта представляет определённый интерес. Сопоставление самых простых метрик фрагментации — количества участков, относящихся к каждому из трёх основных классов земельного покрова, и средних площадей ландшафтных выделов — позволяет заключить, что территория Кластера 2 содержит меньшее количество меньших по площади лесных и луговых участков. Наряду с этим средняя площадь полевого выдела в Кластере 2 почти в три раза превышает соответствующий показатель Кластера 1, что свидетельствует о высоком уровне связности отдельных полей.

Среди доступных количественных характеристик фрагментации для анализа был выбран индекс разделения ландшафта (DIVI – Degree of landscape division). Индекс разделения ландшафта отражает вероятность того, что два произвольно выбранных пикселя определённого класса находятся в разных ландшафтных выделах (Jaeger, 2000). Из рассчитанных значений этого индекса (табл. 5.4) можно заключить, что наименьшая фрагментация наблюдается на пахотных землях Кластера 2, что вполне согласуется с результатами анализа композиционных метрик. Максимальный уровень фрагментации характерен для луговых и лесных экосистем в Кластере 2, что объясняется небольшой площадью расположенных в его пределах участков с древесной и травянистой растительностью.

Проведенный анализ показал, что формирование экосистемной услуги опыления на локальном уровне зависит от структуры землепользования более высокого пространственного уровня. Кластеризация пиксельных значений индекса обилия опылителей (ИОО) на пахотных землях позволила выявить кластеры, достоверно различающиеся по среднему уровню обеспеченности пахотных земель экосистемной услугой опыления. Более высокие значения ИОО на полях характерны для кластера с большей долей естественной древесной и травянистой растительности и более высокой фрагментацией полей, что подтверждает связь установленных различий со структурой земельного покрова.

Полученные результаты позволяют перейти от теоретических выводов к конкретным управленческим решениям. Проведенная кластеризация территории служит основанием для дифференциации агроэкологической политики на муниципальном уровне, направленной как на специализацию развития отдельных частей муниципального района, так и на трансформацию существующей структуры земельного покрова.

Для Кластера 1, где сохранилась относительно высокая доля естественных экосистем, приоритетом должна стать поддержка существующего экологического каркаса. Здесь целесообразно развивать специализированное производство энтомофильных культур, используя естественный потенциал территории. В свою очередь, в интенсивно освоенном Кластере 2 ключевой задачей является компенсация дефицита опылителей. Наиболее эффективным решением выступает контурная мелиорация агроландшафтов, включающая в себя создание энтомологических микрозаказников на малопродуктивных участках полей. Крупные массивы пахотных угодий целесообразно использовать под севообороты, включающие не зависящие от опыления культуры.

Таким образом, исследование предоставляет научную основу для перехода к точечному, научно обоснованному управлению агроландшафтами на муниципальном уровне, сочетающему экологическую устойчивость с экономической эффективностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное диссертационное исследование направлено на решение актуальной научно-практической задачи – оценки состояния экосистемной функции опыления энтомофильных сельхозкультур в зависимости от структуры использования земель для обоснования подходов к управлению опылением на разных пространственных уровнях.

Для достижения поставленной цели в работе была адаптирована и применена методика пространственного моделирования распределения экосистемной услуги опыления по параметрам земельного покрова, основанная на модели Лонсдорфа и реализованная в программном пакете InVEST (модуль Crop Pollination). Модель позволяет выявить на исследуемой территории пространственные единицы – ключевые источники экосистемной услуги опыления, оценить обеспеченность пахотных угодий опылением и протестировать сценарии развития территории, в том числе предполагающие применение различных инструментов управления данной экосистемной услугой. Поскольку основным ограничением практического применения методики Лонсдорфа является доступность необходимых входных данных для модели – значений параметров земельного покрова и фауны пчел, в работе предложен подход к выделению и параметризации классов земельного покрова и гильдий пчёл на основе данных собственных полевых исследований и анализа литературных источников, что позволило повысить точность моделирования.

Исследование закономерностей распределения относительного обилия опылителей на территории Венёвского района позволяет сделать следующие

ВЫВОДЫ:

1. Моделирование в разном пространственном масштабе позволило установить классы земельного покрова, выступающие наиболее ценными местообитаниями (источниками) диких пчел-опылителей в агроландшафтах – ими оказались природные травянистые экосистемы, что связано с доступностью мест, пригодных для гнездования представленных экологических групп пчел, и обилием цветущей растительности в течение всего вегетационного сезона. В исследованном на крупномасштабном уровне агроландшафте популяции опылителей наилучшим образом поддерживают залежи – необрабатываемые сельхозугодья на луговой и

мелколиственной (1-й лесной) стадиях постагрогенной сукцессии. Это объясняется мозаичностью напочвенного покрова, предоставляющего субстраты гнездования для пчёл разных экологических групп, и высоким проективным покрытием цветущего разнотравья.

2. Сельхозугодья с энтомофильными культурами выступают реципиентами экосистемной услуги опыления в связи с дефицитом субстратов гнездования, связанным с распашкой почвы, уборкой растительных остатков и ограниченным периодом массового цветения возделываемых энтомофильных культур. Наибольшие средние значения индекса обилия опылителей характерны для полей, граничащих с естественными экосистемами, а внутри поля значения индекса снижаются по мере удаления от края к центру в связи с ограниченностью радиуса фуражировочных полётов диких пчел.

3. Сценарное моделирование распределения относительного обилия опылителей на крупномасштабном уровне показало, что полное вовлечение всех залежных земель в сельскохозяйственный оборот ведет к значительному падению среднего значения ИОО на пашне (в 3,5 раза). В то же время сохранение части залежей (5% от площади пашни) в качестве энтомологических микрозаказников позволяет при минимальных потерях пахотных площадей существенно повысить потенциал опыления сельхозугодий.

4. Моделирование экосистемной услуги опыления на муниципальном уровне подтвердило закономерности, выявленные при крупномасштабном анализе, и позволило установить взаимосвязь между трансформацией структуры землепользования и потенциалом опыления энтомофильных культур. Сравнительный анализ данных за 2017 и 2023 гг. показал: вовлечение залежей в оборот, сократившее долю травянистых экосистем в 1,7 раза, привело к снижению среднего ИОО на пашне на 17%.

5. Кластеризация пахотных угодий Венёвского района позволила выделить две зоны, статистически значимо различающиеся по уровню обеспеченности пашни ЭУ опыления. Анализ композиционных и конфигурационных ландшафтных метрик показал, что выявленные различия связаны с особенностями пространственной структуры землепользования: более высокие значения ИОО характерны для кластера с большей долей естественной травянистой и древесной растительности и высокой фрагментацией пахотных угодий.

Разработанный в диссертации методический подход и полученные результаты обладают широкой практической применимостью. В управлении сельскохозяйственным землепользованием предложенный инструментарий может

использоваться на уровне отдельных хозяйств для оптимизации размещения энтомофильных культур, обоснования создания элементов экологического каркаса и выбора участков под микрозаказники для повышения урожайности. На муниципальном уровне он позволяет дифференцировать агроэкологическую политику, определяя зоны, приоритетные для развития энтомофильного растениеводства, и территории, требующие компенсационных мер для поддержки опыления. В системе территориального планирования применение данного подхода дает возможность оценивать экологические последствия решений о вовлечении залежных земель в оборот, а карты индекса обилия опылителей служат основой для выделения ценных средообразующих участков. Кроме того, данное исследование может послужить основой для разработки институциональных механизмов создания и поддержания энтомологических микрозаказников на землях сельхозназначения.

Полученные результаты открывают перспективы дальнейшего развития исследования, связанные прежде всего с дополнительным функционалом программы InVEST Crop Pollination. Во-первых, моделирование по методике Лонсдорфа дает возможность сопоставить рассчитанный потенциал опыления с необходимым объемом экосистемной услуги применительно к конкретным сценариям размещения энтомофильных культур, а также позволяет интегрировать в анализ данные о размещенных пасеках медоносных пчел, что существенно повышает полноту оценки. Во-вторых, и это представляется наиболее значимым, при наличии эмпирических данных о степени зависимости возделываемых культур от насекомоопыления модель дает возможность перейти от относительных индексов к расчету вклада диких опылителей в урожайность целевых полей в стоимостном выражении и, соответственно, к монетарной оценке экономического эффекта от реализации управленческих мер, связанных в первую очередь с изменением структуры земельного покрова. Реализация этих направлений позволит обосновать включение экосистемной услуги опыления в систему эколого-экономического учета и механизмы принятия решений в области сельскохозяйственного землепользования.

Благодарности. Выражаю искреннюю благодарность научному руководителю доценту, к.г.н. А.А. Пакиной за постоянное внимание и всестороннюю поддержку в ходе выполнения исследования и подготовки публикаций. Благодарю Центр коллективного пользования «Геопортал» МГУ имени М.В. Ломоносова за предоставление материалов дистанционного зондирования, старшему ГИС-аналитику Natural Capital Project (Стэнфордский

университет*) С. Уолни за консультации по работе с программным обеспечением InVEST и к.б.н. Т.В. Левченко (Государственный Дарвиновский музей) за консультации по биоэкологическим особенностям населения пчёл средней полосы России. Особую признательность выражаю д.б.н. Е.И. Голубевой и к.г.н. Г.Д. Мухину за рецензирование предварительного варианта работы и ценные замечания.

Список литературы

1. Агрэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / под редакцией Г. А. Романенко. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 215 с.
2. Агрэкология: учебник для студентов вузов по агрономическим специальностям / В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев [и др.]; под редакцией В. А. Черникова, А. И. Чекереса. – М.: Колос, 2000. – 534, [1] с.: ил., табл.
3. Алехин В. В. Геоботанические карты Московской области: краткий объяснительный текст к картам / В. В. Алехин; НИИ Большого советского атласа мира при ЦИК СССР. – М., 1934. – 8 с. + 1 отд. л. карт.
4. Амолин А. В. Пчёлы-опылители (Hymenoptera: Apoidea) энтомофильных сельскохозяйственных культур Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2018. – № 3/4. – С. 78–90.
5. Аннотированный каталог насекомых Дальнего Востока России. Том I. Перепончатокрылые / под редакцией А. С. Лелея. – Владивосток: Дальнаука, 2012. – 635 с.
6. Аннотированный каталог перепончатокрылых насекомых России. Том I. Сидячебрюхие (Symphyta) и жалоносные (Aprocrita: Aculeata) / С. А. Белокобыльский, А. В. Антропов, Ю. В. Астафурова [и др.]; под редакцией С. А. Белокобыльского, А. С. Лелея; Российская академия наук, Зоологический институт. – Санкт-Петербург: Зоологический институт РАН, 2017. – 475 с.: ил. – (Труды Зоологического института РАН; вып. 6).
7. Анпилогова Д. Д. Анализ земельного покрова территории для оценки экосистемной функции опыления: методические аспекты / Д. Д. Анпилогова // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии: VII Мильковские чтения: материалы XIV Международной ландшафтной конференции. – Воронеж, 2023. – Т. 1. – С. 339–342.
8. Анпилогова Д. Д. Оценка экосистемной услуги опыления для оптимизации территориальной структуры агроландшафтов / Д. Д. Анпилогова // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 2. – С. 8–14.

* Деятельность организации признана нежелательной на территории РФ

9. Анпилогова Д. Д. Оценка экосистемной услуги опыления в агроландшафте (на примере Венёвского района Тульской области) / Д. Д. Анпилогова // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2024. – Т. 9, № 1 (35). – С. 5–13.
10. Анпилогова Д. Д. Оценка экосистемной услуги опыления для оптимизации размещения энтомофильных культур в агроландшафте / Д. Д. Анпилогова // Естественные и технические науки. – 2025. – Т. 206, № 7. – С. 94–98.
11. Анпилогова Д. Д. Влияние пространственной структуры агроландшафта на экосистемную услугу опыления / Д. Д. Анпилогова, А. А. Пакина // Проблемы региональной экологии. – 2025. – № 5. – С. 69–74.
12. Артохин К. С. Опылители люцерны и экологические принципы выбора опылительных стратегий / К. С. Артохин // XII съезд Русского энтомологического общества, Санкт-Петербург, 19–24 августа 2002 г.: тезисы докладов. – Санкт-Петербург, 2002. – С. 21.
13. Астафьев Н. П. Правовое обеспечение пчеловодства в субъектах Российской Федерации / Н. П. Астафьев // Пчеловодство. – 2007. – № 7. – С. 12–13.
14. Березин М. В. Видовой состав шмелей – опылителей клевера в учебно-опытном хозяйстве «Михайловское» / М. В. Березин, Н. В. Березина, Ю. А. Захваткин // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 1987. – Вып. 1. – С. 156–162.
15. Бутовский Р. О. Экосистемные услуги: современное состояние опылителей / Р. О. Бутовский // Местное устойчивое развитие: электронный журнал. – 2017. – https://fsdejournal.ru/pdf-files/2017/butovskij_statya-ehkosistemnye-uslugi.pdf (дата обращения: 30.03.2026)
16. Воронков Н. А. Роль лесов в охране вод / Н. А. Воронков. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. – 285 с.
17. Гаврилов А. А. Эдуард Коченов: «Рапс – уникальная культура» / А. А. Гаврилов // Вестник АПК. – 2016. – <https://vestnikapk.ru/articles/portret-regiona/eduard-kochenov-raps-unikalnaya-kultura> (дата обращения: 30.03.2026)
18. Гаева Д. В. Опыление как экосистемная услуга в аграрном природопользовании / Д. В. Гаева // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2015. – № 1. – С. 19–34.
19. Глушков Н. М. Проблемы пчеловодства в СССР в связи с вопросами опыления растений / Н. М. Глушков. – Рыбное: НИИ пчеловодства, 1957. – 23 с.
20. Голиков В. И. Экологические основы опыления некоторых полевых и плодовых культур пчелиными в Западном Предкавказье / В. И. Голиков. – Краснодар: Издательство КубГУ, 2000. – 191 с.
21. Гребенников В. С. Дикие опылители, охрана природы и урожай / В. С. Гребенников. – Омск: Знамя, 1975. – 63 с.

22. Гребенников В. С. Шмели – опылители клевера / В. С. Гребенников. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 64 с.
23. Гребенников К. А. Опыт использования ловушек Мерике в Богдинско-Баскунчакском заповеднике (Астраханская область) / К. А. Гребенников // Научная перспектива. – 2015. – № 12. – С. 48–51.
24. Губин А. Ф. Медоносные пчелы и опыление красного клевера / А. Ф. Губин; Научно-исследовательский институт пчеловодства Министерства сельского хозяйства РСФСР. – М.: Сельхозгиз, 1947. – 279 с.
25. Дедюхин С. В. Принципы и методы эколого-фаунистических исследований наземных насекомых : учебно-методическое пособие / С. В. Дедюхин. – Ижевск: Удмуртский университет, 2011. – 93 с.
26. Демьянова Е. И. Антэкология: учебное пособие по спецкурсу; Пермский государственный университет. – Пермь, 2010. – 116 с.
27. Длусский Г. М. Механизмы конкуренции за опылителей у купыря лесного (*Anthriscus sylvestris*) и сныти (*Aegopodium podagraria*) (Ariaceae) / Г. М. Длусский // Журнал общей биологии. – 1998. – Т. 59. – С. 24–43.
28. Добровольский Г. В. География почв: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 013000 «Почвоведение» и направлению 510700 «Почвоведение» / Г. В. Добровольский, И. С. Урусевская; Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Московского университета: КолосС, 2004. – 458 с.: ил., карт., табл. – (Классический университетский учебник). – Библиогр.: с. 453–456
29. Добрынин Н. Д. Опыление и опылители люцерны: монография / Н. Д. Добрынин. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет, 2011. – 147 с.
30. Добрынин Н. Д. Опылители люцерны в Центральном Черноземье: экологические основы охраны, разведения, использования: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 11.00.11. – М., 1998. – 45 с.
31. Добрынин Н. Д., Прокопчук А. Е. Экологические условия регуляции численности полезной энтомофауны на посевах многолетних бобовых трав // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. 2013. – №1. – с.92–94.
32. Дугина Е. Н. Состав фауны пчёл (Hymenoptera, Apoidea) степных участков с различным уровнем охраны // Региональные геосистемы. 2009. – №3 (58). – с.75–80.
33. Дунаев Е. А. Методы эколого-энтмологических исследований. М.: МосгорСЮН, 1997. – 44 с.
34. Дьяконов К. Н. Оценка ландшафтных функций осушенных земель Мещерской низменности / К. Н. Дьяконов, Т. И. Харитоновна // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2017. – Т. 83, № 5. – С. 57–71.

35. Ефименко Д. В., Михайлова О. П., Сулейменова С. Б. Влияние химических инсектицидов на пчёл медоносных при обработке посевов рапса // Актуальные исследования. 2023. №12 (142). Ч.1. С. 46–49.
36. Ефименко Д. Я. Гречиха / Д. Я. Ефименко, Г. И. Барабаш. – М.: Агропромиздат, 1990. – 192 с.
37. Ефремова З. А. Шмели Поволжья: учебное пособие к спецкурсу / З. А. Ефремова. – Ульяновск: Ульяновский педагогический институт, 1991. – 89 с.
38. Зворыкин К. В. Агрогеографическое изучение земельных ресурсов / К. В. Зворыкин // Вопросы географии. – 1984. – Сб. 124. – С. 11–24.
39. Зеленцов С. В. Нежелательные морфологические признаки цветка в селекции облигатно самоопыляющихся сортов сои / С. В. Зеленцов, Е. В. Мошненко // Масличные культуры. – 2019. – № 3 (179). – С. 40–47.
40. Земледелие: учебник для студентов высших учебных заведений по агрономическим специальностям / Г. И. Баздырев, В. Г. Лошаков, А. И. Пупонин [и др.]; под редакцией А. И. Пупониной. – М.: КолосС, 2008. – 567 с.
41. Иванов Е. С. Антэкологические аспекты панмиксии и использования урожайных ресурсов энтомофильных фитоценозов: монография / Е. С. Иванов. – М.: Агроэкоинформ, 1999. – 97 с.
42. Иванов Е. С. Медопродуктивность летне-осенних растений природных экосистем / Е. С. Иванов, Е. П. Прибылова // Пчеловодство. – 2008. – № 8. – С. 24–26.
43. Иванов Е. С. Опыление рапса ярового / Е. С. Иванов, В. Б. Дроздов, Е. Е. Демидова // Пчеловодство. – 1991. – № 6. – С. 10–12.
44. Иванов Е. С. Охрана природы: учебник и практикум / Е. С. Иванов, А. С. Чердакова, В. А. Марков, Е. А. Лупанов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2023. – 247 с.
45. Иванов Е. С. Теоретическая и прикладная экология и антэкология в аграрном природопользовании / Е. С. Иванов, Б. И. Кочуров, А. К. Муртазов, Е. В. Бирюкова // Региональные геосистемы. – 2021. – Т. 45, № 1. – С. 5–27.
46. Игнатенко Е. В. Фауна и биология пчёл рода *Nylaeus* Fabricius, 1793 (Hymenoptera: Colletidae) в Амурской области / Е. В. Игнатенко // Амурский зоологический журнал. – 2012. – № 1. – С. 49–53.
47. Исаченко А. Г. Оптимизация природной среды: географический аспект / А. Г. Исаченко. – М.: Мысль, 1980. – 264 с.
48. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2006 года. – М.: ИИЦ «Статистика России», 2008. – Т. 2: Земельные ресурсы. – 345 с.
49. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года. – М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. – Т. 4: Посевные площади сельскохозяйственных культур. – 532 с.
50. Итоги социально-экономического развития муниципального образования Венёвский район за 1 полугодие 2024 года / Администрация муниципального образования

- Венёвский район. – Тула, 2024. – URL: <https://venev.tularegion.ru/activities/ekonomika-rayona/itogi-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-mo-venevskiy-rayon> / (дата обращения: 30.03.2026).
51. Казаков Л. К. Ландшафтоведение (природные и природно-антропогенные ландшафты): учебное пособие / Л. К. Казаков. – М.: Издательство МНЭПУ, 2004. – 263 с.
 52. Калининкова Т. Б. Токсическое действие пестицидов на пчел: обзор / Т. Б. Калининкова, А. Ф. Гатиятуллина, А. В. Егорова // Российский журнал прикладной экологии. – 2021. – № 3 (27). – С. 3–9.
 53. Карцев В. М. Насекомые европейской части России: атлас с обзором биологии / В. М. Карцев, Г. В. Фарафонова, А. К. Ахатов [и др.]; под общей редакцией В. М. Карцева. – М.: Фитон XXI, 2013. – 568 с.
 54. Касимов Д. В. Некоторые подходы к оценке экосистемных функций (услуг) лесных насаждений в практике природопользования: монография / Д. В. Касимов, В. Д. Касимов. – М.: Мир науки, 2015. – 91 с.
 55. Каштанов А. Н. Концепция устойчивого развития земледелия России в XXI веке // Почвоведение. – 2001. – № 3. – С. 263–265.
 56. Кирюшин В. И. Проблема экологизации земледелия в России (Белгородская модель) / В. И. Кирюшин // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 3–9.
 57. Кирюшин В. И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов / В. И. Кирюшин. – М.: КолосС, 2010. – 443 с.
 58. Киселева Н. А. Управление земельными ресурсами: региональный аспект: учебное пособие / Н. А. Киселева, О. В. Тараканов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 148 с.
 59. Климанова О. А. Оценка экосистемных услуг на муниципальном уровне и ее возможная интеграция в территориальное планирование / О. А. Климанова, Е. Н. Букварёва, О. А. Илларионова, Е. Ю. Колбовский // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2022. – Т. 86, № 4. – С. 605–620.
 60. Колбовский Е. Ю. Ландшафтное планирование. М.: Академия, 2008. – 336 с.
 61. Колбовский Е. Ю. Пространственный анализ в геоэкологии. М.: МГУ, 2022. – 820 с.
 62. Комаров Е. В. Создание сети экологических резерватов как одно из направлений повышения биоразнообразия энтомофауны / Е. В. Комаров, О. П. Комарова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 2 (62). – С. 222-230.
 63. Конвенция о биологическом разнообразии. Решение Конференции Сторон III/11 «Сельскохозяйственное биоразнообразие» (1996). – URL: <https://www.cbd.int/decision/cop/?id=7103> (дата обращения: 21.03.2026).
 64. Комлацкий В. И. Пчеловодство: учебник для студентов высших учебных заведений по биологическим специальностям / В. И. Комлацкий, С. В. Логинов, С. А. Плотников. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 397, [2] с., [8] л. цв. ил.

65. Корженевский В. В. Виды рода *Cephalanthera* во флоре Крыма и их антропоэкологические особенности / В. В. Корженевский, С. П. Иванов, А. В. Фатерыга, А. А. Квитницкая // Охрана и культивирование орхидей : материалы IX Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 26–30 сентября 2011 г. – Санкт-Петербург: Товарищество научных изданий КМК, 2011. – С. 204–210.
66. Корпачев В.В. Перспективная ресурсосберегающая технология производства ярового рапса: Метод. рекомендации/ В. В. Корпачев, В. П. Савенков, В. И. Горшков, С. А. Харламов, Е. Л. Ревякин, Г. А. Гоголев– М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 60 с.
67. Костовска С. К. Эколого-географический анализ территории староосвоенного региона (на примере Суворовского района Тульской области): диссертация ... кандидата географических наук: 25.00.36. – 2003.
68. Кравцов С. Ю. Степень перекрестного опыления у рапса и сурепицы / С. Ю. Кравцов // НТБ ВНИИМК. – 1985. – Вып. 3 (90). – С. 17–18.
69. Красная книга Московской области / Министерство экологии и природопользования Московской области, Комиссия по редким и находящимся под угрозой исчезновения видам животных, растений и грибов Московской области; ответственные редакторы: Т. И. Варлыгина, В. А. Зубакин, Н. Б. Никитский, А. В. Свиридов. – Издание 3-е, дополненное и переработанное. – Московская область: Верховье, 2018. – 809 с.: ил.
70. Красная книга Республики Татарстан (животные, растения, грибы) издание четвертое / коллектив авторов; под редакцией Г. А. Шайхутдиновой. – Казань : Издательство Академии наук Республики Татарстан, 2025. – 804 с.: ил., карты.
71. Красная книга Тульской области: животные: официальное издание / Правительство Тульской области, Министерство природных ресурсов и экологии Тульской области, Государственный военно-исторический и природный музей-заповедник "Куликово поле" [и др.]; редакторы разделов: Л. В. Большаков, Е. В. Смирнова, О. В. Швец. – Воронеж: Кварта, 2013. – 414, [1] с.: цв. ил., карты-схемы.
72. Красная книга Ульяновской области / Правительство Ульяновской области, Департамент природопользования и экологии Ульяновской области; под научной редакцией Е. А. Артемьевой, О. В. Бородина, М. А. Королькова, Н. С. Ракова; редколлегия: Д. В. Федоров (председатель) [и др.]. – Ульяновск: Артишок, 2008. – 508 с.: ил., карты-схемы.
73. Крыленко, С. В. Кризис опыления и вклад в него изменений климата / С. В. Крыленко, В. В. Ясюкевич // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 15–49.
74. Лазарев М. М. Влияние лесонасаждений на нектарозапас угодий / М. М. Лазарев, Т. П. Муха // Земледелие. – 1989. – № 3. – С. 34–35.
75. Лебедев В. И. Биология медоносной пчелы и опыление сельскохозяйственных растений: монография / В. И. Лебедев, Н. И. Кривцов. – Рыбное: НИИ пчеловодства, 2006. – 221 с.

76. Лебедев Ю. В. Оценка лесных экосистем в экономике природопользования / Ю. В. Лебедев. – Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2011. – 575 с.: ил. – (Экология).
77. Левченко Т. В. Фауна и экология пчёл (Hymenoptera: Apoidea) Московской области: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.02.05 / Левченко Тимофей Викторович; Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – М., 2010. – 356 с.
78. Левченко Т. В. Пчёлы (Hymenoptera: Apiformes) памятника природы «Урочище Излучина» Тульской области / Т. В. Левченко, А. Ю. Ким, А. Ф. Лакомов // Изучение и сохранение биоразнообразия Тульской области и других регионов России : сборник материалов Всероссийской научной конференции, посвященной перспективам создания национального парка «Тульские засеки», 23–26 ноября 2021 г. – Тула : Издательство ТулГУ, 2021. – С. 319–326.
79. Лесной план Тульской области: приложение к указу губернатора Тульской области от 25 февраля 2025 г. № 51 «Об утверждении Лесного плана Тульской области». – Тула, 2025. Текст: электронный // ГАРАНТ: информационно-правовой портал. – URL: <https://base.garant.ru/30367087/> (дата обращения: 17.03.2026).
80. Лысенков, С. Н. Опылители-генералисты как агенты переноса пыльцы растений с широким кругом опылителей: автореферат дисс. ... кандидата биологических наук: 03.02.05 / Лысенков Сергей Николаевич; [Место защиты: Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. Биол. фак.]. – М., 2010. – 18 с.
81. Люри Д. И., Горячкин С. В., Караваева Н. А., Денисенко Е. А., Нефедова Т. Г. Динамика сельскохозяйственных земель в России в XX веке и пост-агрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. – 426 с.
82. Лялин Н. Н. Природа Тульской области / Н. Н. Лялин. – Тула: Тульское книжное издательство, 1954. – 184 с.: ил.
83. Мадебейкин И. И. Фауна и биоэкология шмелей агроценозов северо-восточной части Приволжской возвышенности. – Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. М.: Рос. гос. аграрн. заочн. ун. – 2004.– 20 с.
84. Мадебейкин И. И. Рациональное использование опылителей// Пчеловодство. – 2003. – №3. – С. 12–13.
85. Макаренко А. В. Выращивание рапса как направление улучшения финансового состояния сельскохозяйственной организации / А. В. Макаренко // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 7–1. – С. 143–147.
86. Максимова Е. Не медовый год для пчеловодов. Производство меда становится все менее доходным / Е. Максимова // Агроинвестор: деловой журнал. – 2023. – 9 января. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/39541-ne-medovyy-god-dlya-pchelovodov-proizvodstvo-meda-stanovitsya-vse-menee-dokhodnym/> (дата обращения: 30.03.2026).
87. Максимова Е. Топ-15 регионов продают свыше 70% меда в стране / Е. Максимова // Агроинвестор: деловой журнал. – 2021. – 15 июня. – URL:

- <https://www.agroinvestor.ru/regions/news/35985-top-15-regionov-prodayut-svyshe-70-meda-v-strane/> (дата обращения: 07.10.2024).
88. Малышев С. И. Дикие опылители на службе у человека / С. И. Малышев. – Москва; Ленинград: Наука. Ленинградское отделение, 1963. – 68 с.: ил. – (Научно-популярная серия / Академия наук СССР). – Библиогр.: с. 64-67.
 89. Малышева Н. А. Количественная оценка запасов древесного детрита в лесах Российской Федерации по данным ГИЛ / Н. А. Малышева, А. Н. Филипчук, Т. А. Золина, Г. В. Сильнягина // Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал. – 2019. – № 1. – С. 101–128. URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения: 30.03.2026).
 90. Мельников А. В. Роль приемов защиты в формировании энтомофауны насекомоопыляемых культур в лесостепном Поволжье: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.07 / Мельников Алексей Васильевич; [Место защиты: Саратов. гос. аграр. ун-т им. Н. И. Вавилова]. – Саратов, 2017. – 197 с.
 91. Мильков Ф. Н. Несколько слов в защиту лесостепной географической зоны / Ф. Н. Мильков // Известия Всесоюзного географического общества. – 1957. – Т. 89, вып. 6. – С. 527–532.
 92. Мухин Г. Д. Эколого-экономическая оценка трансформации сельскохозяйственных земель европейской территории России в 1990–2009 гг. / Г. Д. Мухин // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2012. – № 5. – С. 49–55.
 93. Насекомые европейской части России: Атлас с обзором биологии / В. М. Карцев, Г. В. Фарафонова, А. К. Ахатов, Н. В. Беляева, А. А. Бенедиктов, М. В. Березин, О. Г. Волков, Н. А. Гура, Ю. В. Лопатина, Л. И. Лютикова, А. С. Просвиоров, Г. И. Рязанова, Е. Ю. Ткачёва, П. В. Альбрехт. – М.: Фитон XXI, 2013. – 568 с.
 94. Наумкин В. П. Насекомые – опылители агроценозов энтомофильных культур / В. П. Наумкин, В. И. Мазалов // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2016. – № 3 (19). – С. 77–83.
 95. Наумкин В. П. Насекомые – опылители агроценозов энтомофильных культур / В. П. Наумкин, В. И. Мазалов // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2016. – № 3 (19). – С. 114–118.
 96. Наумкин В. П., Старостин А. А., Донской М. М. Видовой состав насекомых на посевах чины // Зернобобовые и крупяные культуры. – № 2 (10). – 2014. – С. 75–80.
 97. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги / под редакцией В. Ю. Георгиевского. – Электрон. текстовые и граф. дан. – Ливны: Издатель Мухаметов Г. В., 2015. – 1 электрон. опт. диск.
 98. Научные основы земледелия: краткий курс лекций для аспирантов 3 курса направления подготовки 35.06.01 Сельское хозяйство / Сост.: А.П. Солодовников // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – 32 с.
 99. Национальный атлас почв Российской Федерации. Редактор: Шоба С.А. Издание: Астель, М., 2011. – 632 с.

100. Национальный атлас России: в 4 т. / составили и подготовили к изданию ПКО «Картография» и Государственный центр «Природа»; под общим руководством Роскартографии; ответственные редакторы тома: Г. В. Поздняк, Н. Н. Полункина, Н. В. Смурова; председатель редакционной коллегии В. Ф. Хабаров. – М.: Роскартография, 2004. – Т. 1: Общая характеристика территории. – 496 с.: ил., карты.
101. Неронов В. В. Полевая практика по геоботанике в средней полосе Европейской России: Методическое пособие. Благотвор. фонд "Центр охраны дикой природы". – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2002. – 138 с.
102. Нестеров А. И. К вопросу о северной границе лесостепной зоны на Среднерусской возвышенности / А. И. Нестеров, В. И. Федотов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2005. – № 2. – С. 5–12.
103. Нефедова Т. Г. Двадцать пять лет постсоветскому сельскому хозяйству России: географические тенденции и противоречия // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2017. – № 5. – С. 8–19.
104. Николаев В. А. Концепция агроландшафта // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1987. – № 2. – С. 22–27.
105. Николаев В. А. Проблемы регионального ландшафтоведения / В. А. Николаев. – М.: Издательство Московского университета, 1979. – 158 с.: ил.
106. Николаев В. А., Копыл И. В., Сысуев В. В. Природно-антропогенные ландшафты (сельскохозяйственные и лесохозяйственные): Учебное пособие. – М.: Географический факультет МГУ, 2008. – 160 с.
107. Осинцева Л. А. Экология медоносной пчелы, *Apis mellifera* L. (влияние пестицидов и других антропогенных факторов): учебное пособие / Л. А. Осинцева; Новосибирский государственный аграрный университет. – Новосибирск: Золотой колос, 2012. – 112 с.
108. Основные итоги сельскохозяйственной микропереписи в Тульской области 2021 года: официальное издание / Федеральная служба государственной статистики, Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Тульской области (Туластат). – Тула: Туластат, 2022. – 187 с.: табл.
109. Осычнюк А. З. Надсемейство Apoidea / А. З. Осычнюк, Д. В. Панфилов, А. А. Пономарева // Определитель насекомых европейской части СССР: в 5 т. / под общей редакцией Г. С. Медведева. – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1978. – Т. 3, ч. 1: Перепончатокрылые. – С. 279–518.
110. Панфилов Д. В. Общий обзор населения пчелиных Евразии / Д. В. Панфилов // Сборник трудов Зоологического музея Московского государственного

- университета. – М.: Издательство Московского университета, 1968. – Т. 11. – С. 18–35.
111. Пельменев В. К. Эффективность энтомофилии в растениеводстве / В. К. Пельменев, З. И. Винокурова. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1985. – 53 с.
112. Песенко Ю. А. Люцерновая пчела-листорез *Megachile rotundata* и ее разведение для опыления люцерны / Ю. А. Песенко; Академия наук СССР, Зоологический институт. – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1982. – 136 с.: ил.
113. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, 1982. – 287 с.
114. Пирогова Е. А. Реализация потенциальной продуктивности ярового рапса селекции ВНИИМК в зависимости от способа опыления / Е. А. Пирогова, Л. А. Горлова // Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки сельскохозяйственных культур: сборник материалов 11-й Всероссийской конференции молодых учёных и специалистов. – Краснодар: ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2021. – С. 45–50.
115. Плавильщиков Н. Н. Определитель насекомых: краткий определитель наиболее распространенных насекомых европейской части России / Н. Н. Плавильщиков. – Москва: Топикал, 1994. – 543, [1] с., [2] л. ил : ил. – Библиогр.: с. 513–523.
116. Пономарев В. А. Экология шмелей рода *Bombus* (Latr.) и профилактика инфекционных болезней при их лабораторном разведении: автореферат диссертации ... доктора биологических наук: 03.00.09; 16.00.03 / Пономарев Василий Александрович; Ивановская государственная сельскохозяйственная академия. – Иваново, 2004. – 71 с.
117. Пономарева Е. Г. Кормовая база пчеловодства и опыление сельскохозяйственных растений / Е. Г. Пономарева. – М.: Колос, 1973. – 256 с.: ил.
118. Попов И. Б. Фауна и экология шмелей Краснодарского края: монография / И. Б. Попов – Краснодар: КубГАУ, 2018. – 149 с.
119. Прибылова Е. П. Трофические взаимоотношения насекомых-опылителей и энтомофильных растений в экосистемах: монография / Е. П. Прибылова, Е. С. Иванов. – Рязань: Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина, 2010. – 152 с.
120. Приказ Минсельхоза России от 19.05.2016 № 194 «Об утверждении Ветеринарных правил содержания медоносных пчёл в целях их воспроизводства, выращивания, реализации и использования для опыления сельскохозяйственных энтомофильных растений и получения продукции пчеловодства» (Зарегистрировано в Минюсте России 04.08.2016 № 43124)
121. Радченко В. Г. Биология шмелиной семьи. Киев: Ин-т зоол. АН УССР, 1989. – 55 с.

122. Радченко В. Г. Гнездование четырех видов пчёл рода *Andrena* F. (Hymenoptera, Andrenidae) / В. Г. Радченко // Энтомологическое обозрение. – 1981. – Т. 60, вып. 4. – С. 766–774.
123. Радченко В. Г., Песенко Ю. А. Биология пчёл (Hymenoptera, Apoidea). СПб.: Наука, 1994. – 351 с.
124. Региональный доклад о состоянии и использовании земель Тульской области в 2023 году / Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Тульской области. – Тула: Росреестр, 2024. – 198 с.: табл., диагр.
125. Реймерс Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник – М.: «Мысль», 1990. – 637 с.
126. Российская Федерация. Законы. О животном мире: Федеральный закон № 52-ФЗ: принят Государственной Думой 22 марта 1995 года: (с изменениями и дополнениями) // ГАРАНТ: информационно-правовой портал. – URL: <https://base.garant.ru/10107800/> (дата обращения: 30.03.2026).
127. Российская Федерация. Законы. О пчеловодстве в Российской Федерации: Федеральный закон № 490-ФЗ: принят Государственной Думой 22 декабря 2020 года: одобрен Советом Федерации 25 декабря 2020 года // ГАРАНТ: информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400056366/> (дата обращения: 30.03.2026).
128. Садовникова Е. Ф. Коллапс пчелиных семей: обзор литературы и клинический опыт / Е. Ф. Садовникова, Е. О. Ковалевская // Ветеринарный журнал Беларуси. – 2015. – № 1. – С. 48–53.
129. Самсонова И. Д., Сидаренко П. В. Ресурсный потенциал лесных полос агроландшафтов степного Придонья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (93). – С. 59–65.
130. Скалон Н. В. Новые сведения по беспозвоночным животным, включенным в Красную книгу Кемеровской области (по результатам мониторинга 2014–2015 гг.) / Н. В. Скалон, Д. В. Сущёв, Д. А. Ефимов [и др.] // СибСкрипт. – 2015. – № 4–3 (64). – С. 197–202.
131. Соловьева Л. Ф. Защитить пчёл от отравления пестицидами // Защита и карантин растений. №5. 2012. – С. 53–54.
132. Сорокина О. А. Постагrogenная трансформация серых почв залежей: монография / О. А. Сорокина, В. В. Токавчук, А. Н. Рыбакова; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Красноярский государственный аграрный университет. – Красноярск: КрасГАУ, 2016. – 239 с.
133. Схематическая карта геоморфологического районирования Московской, Калининской (Тверской), Ярославской, Владимирской, Рязанской, Тульской, Калужской, Смоленской областей/ Н. А. Молгачёва, редактор: И. В. Попов. –

- Масштаб 1:1 500 000. – Министерство геологии СССР, Всесоюзный институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), ГУЦР, 1963.
134. Тишков А. А. Биосферные функции природных экосистем России. – М.: Наука, 2005. – 309 с.
135. Трапезникова О. Н. Структура и эволюция агроландшафтов Нечерноземной зоны Восточно-Европейской равнины: автореферат дис. ... доктора географических наук : 25.00.36 / Трапезникова Ольга Николаевна; [Место защиты: Ин-т географии РАН]. - М., 2017. - 50 с.
136. Тульская область. Законы. О преобразовании муниципальных образований на территории Венёвского района Тульской области и о внесении изменений в Закон Тульской области «О переименовании муниципального образования "Венёвский район Тульской области", установлении границ, наделении статусом и определении административных центров муниципальных образований на территории Венёвского района Тульской области» : Закон Тульской области № 2092-ЗТО : принят Тульской областной Думой 27 марта 2014 года // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/7100201404020001> (дата обращения: 17.03.2026).
137. Тульская область. Законы. О регулировании отдельных отношений в области пчеловодства на территории Тульской области и государственной поддержке пчеловодства в Тульской области: Закон Тульской области № 114-ЗТО: принят Тульской областной Думой 28 ноября 2019 года // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/7100201912020001> (дата обращения: 17.03.2026).
138. Тульская область. Законы. Об административно-территориальном устройстве Тульской области: Закон Тульской области № 954-ЗТО: принят Тульской областной Думой 27 декабря 2007 года: (с изменениями на 29 октября 2021 года) // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=171010> (дата обращения: 30.03.2026).
139. Тульская область: топографическая карта: [карта]: состояние местности на 1990 г. / Военно-топографическое управление Генерального штаба ВС РФ. – Масштаб 1:200 000. – [Москва]: Военно-топографическое управление ГШ ВС РФ, 1990. – 1 атлас (многолистная карта).
140. Туркевич И. В. Экономическая оценка лесов и их средозащитных функций: диссертация ... доктора экономических наук: 08.00.05 / Туркевич Иван Васильевич. – Пушкино, 1978. – 336 с.

141. Уланова Н. Г. Вейник наземный / Н. Г. Уланова // Биологическая флора Московской области / под редакцией В. Н. Павлова, В. Н. Тихомирова. – М.: Издательство Московского университета: Аргус, 1995. – Вып. 10. – С. 4–19.
142. Фегри К. Основы экологии опыления / К. Фегри, Л. ван дер Пэйл; перевод с английского Л. В. Ковалевой, Э. Л. Миляевой; под редакцией А. П. Меликяна. – М.: Мир, 1982. – 379 с.
143. Федотов В. И. Земля Тульская: (природа, ландшафты и их охрана) / В. И. Федотов, В. М. Васильев. – Тула: Приокское книжное издательство, 1979. – 158 с.: ил.
144. Физико-географическое районирование Нечерноземного центра / под редакцией Н. А. Гвоздецкого, В. К. Жучковой. – М.: Издательство МГУ, 1963. – 451 с.
145. Филин В. В. Влияние насекомых-опылителей на структуру урожая гречихи в зависимости от способов посева / В. В. Филин, Г. С. Егорова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2013. – № 1 (29). – С. 74–78.
146. Филин В. В. Влияние насекомых-опылителей на структуру урожая гречихи в зависимости от способов посева / В. В. Филин, Г. С. Егорова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2013. – № 1 (29). – С. 70–74.
147. Ханнанова Т. Р. Актуальные вопросы правового обеспечения пчеловодства / Т. Р. Ханнанова, Р. Р. Шапошникова // Аграрное и земельное право. – 2017. – № 11 (155). – С. 68–71.
148. Харитонов Т. И. Оценка ландшафтных функций урбогеосистем г. Тюмени / Т. И. Харитонов, К. А. Мерекалова, А. И. Моисеев [и др.] // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов : материалы XIII Международной ландшафтной конференции, посвященной столетию со дня рождения Ф. Н. Милькова, г. Воронеж, 14–17 мая 2018 г. – Воронеж, 2018. – Т. 1. – С. 275–277.
149. Хвир В. И. Сообщества антофильных насекомых сорных и рудеральных растений: комплексный подход в оценке эффективности опыления / В. И. Хвир. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 156 с.
150. Хорошев А. В. Теория и методология ландшафтного планирования / А. В. Хорошев, И. А. Авессаломова, К. Н. Дьяконов [и др.]; ответственные редакторы К. Н. Дьяконов, А. В. Хорошев; Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Географический факультет, Российский фонд фундаментальных исследований. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2019. – 444 с., [36] л. цв. ил.: ил., карты, схемы. – Библиогр.: с. 417–442.
151. Ченикалова Е. В. Дикие пчелиные Ставрополя, их эффективность и охрана в агроландшафтах. – Ставрополь: АГРУС, 2005. – 112 с.
152. Ченикалова Е. В. Кто вредит одиночным пчелам? / Е. В. Ченикалова, М. П. Чаплыгин // Пчеловодство. – 2004. – № 1. – С. 54–55.

153. Ченикалова Е. В. Охрана и повышение эффективности природных опылителей в хозяйствах Ставропольского края / Е. В. Ченикалова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 5 (79). – С. 114–117.
154. Ченикалова Е. В. Пути повышения эффективности природных опылителей при органическом земледелии / Е. В. Ченикалова, В. Н. Черкашин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 8. – С. 25–29.
155. Чижиков П. Н. Карта почвообразующих пород Европейской части СССР: [карта] / автор П. Н. Чижиков; составлена в Музее Землеведения МГУ им. Ломоносова. – Масштаб 1:4 000 000. – М.: Главное управление геодезии и картографии (ГУГК), 1968. – 1 л.
156. Шейко А. А. Пчёлы-листорезы (Megachilidae) - опылители цветковых растений флоры Беларуси / А. А. Шейко // 76-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета: материалы конференции: в 3 частях / Белорусский государственный университет. – Минск: БГУ, 2019. – Ч. [укажите номер части]. – С. 356-359.
157. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 1. Услуги наземных экосистем / Ред.-сост. Е. Н. Букварева, Д. Г. Замолотчиков. – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. – 148 с.
158. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 2. Биоразнообразие и экосистемные услуги: принципы учета в России / Сост. Е. Н. Букварева; Ред. Е. Н. Букварева, Т. В. Свиридова. – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2020. – 256 с.
159. Ярошенко П. Д. Геоботаника: Пособие для студентов пед. вузов. – М.: Просвещение, 1969. – 200 с.
160. Ясюкевич В. В. Влияние погодных аномалий и процессов урбанизации на состояние популяций и биоразнообразие шмелей в Московском регионе: преодоление биологических последствий аномального лета 2010 г. / В. В. Ясюкевич, Л. Е. Ривкин, Н. В. Ясюкевич // Прикладная энтомология. – 2013. – Т. 4, № 2. – С. 30–41.
161. Ackerman J. D. Abiotic pollen and pollination: ecological, functional, and evolutionary perspectives / J. D. Ackerman // Pollen and Pollination / edited by A. Dafni, M. Hesse, E. Pacini. – Vienna; New York: Springer, 2000. – P. 167-185.
162. Affek A. N. Indicators of ecosystem potential for pollination and honey production / A. N. Affek // Ecological Indicators. – 2018. – Vol. 94, Part 2. – P. 33-45.
163. Aizen M. A. Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency / M. A. Aizen, L. A. Garibaldi, S. A. Cunningham, A. M. Klein // Current Biology. – 2008. – Vol. 18, No. 20. – P. 1572-1575
164. Aizen M. A. The global stock of domesticated honeybees is growing slower than agricultural demand for pollination / M. A. Aizen, L. D. Harder // Current Biology. – 2009. – Vol. 19, No. 11. – P. 915-918.

165. Albert C. Applying ecosystem services indicators in landscape planning and management: The ES-in-Planning framework / C. Albert, C. Galler, J. Hermes [et al.] // *Ecological Indicators*. – 2016. – Vol. 61. – P. 100-113.
166. Anpilogova D. Assessing ecosystem services of abandoned agricultural lands: a case study in the forested zone of European Russia / D. Anpilogova, A. Pakina // *One Ecosystem*. – 2022. – Vol. 7. – Article No. e77969.
167. Bailey S. Distance from forest edge affects bee pollinators in oilseed rape fields / S. Bailey, F. Requier, B. Nusillard [et al.] // *Ecology and Evolution*. – 2014. – Vol. 4, No. 4. – P. 370-380.
168. Bartholomé O. Disentangling the diversity of definitions for the pollination ecosystem service and associated estimation methods / O. Bartholomé, S. Lavorel // *Ecological Indicators*. – 2019. – Vol. 107. – Article No. 105576.
169. Bastian O. Ecosystem properties, potentials and services: the EPPS conceptual framework and an urban application example / O. Bastian, D. Haase, K. Grunewald // *Ecological Indicators*. – 2012. – Vol. 21. – P. 7-16.
170. Baylis K. Economics of Pollination / K. Baylis, E. M. Lichtenberg, E. Lichtenberg // *Annual Review of Resource Economics*. – 2021. – Vol. 13. – P. 335-354.
171. Becher M. A. BEEHAVE: a systems model of honeybee colony dynamics and foraging to explore multifactorial causes of colony failure / M. A. Becher, V. Grimm, P. Thorbek [et al.] // *Journal of Applied Ecology*. – 2014. – Vol. 51, No. 2. – P. 470-482.
172. Becher M. A. Bumble-beehave: a systems model for exploring multifactorial causes of bumblebee decline at individual, colony, population and community level / M. A. Becher, G. Twiston-Davies, T. D. Penny [et al.] // *Journal of Applied Ecology*. – 2018. – Vol. 55, No. 6. – P. 2790–2801.
173. Beil M. Analysis of pollen loads in a wild bee community (Hymenoptera: Apidae) – a method for elucidating habitat use and foraging distances / M. Beil, H. Horn, A. Schwabe // *Apidologie*. – 2008. – No. 39. – P. 456–467.
174. Benjamin A. A world without bees: the mysterious decline of the honeybee – and what it means for us / A. Benjamin, B. McCallum. – London: Guardian Books, 2009. – 298 p.
175. Borański M. First record of *Lithurgus cornutus* (Hymenoptera: Apoidea: Megachilidae) from Poland / M. Borański, W. Celary, J. Jachuła // *Biodiversity Data Journal*. – 2021. – Vol. 9, e75997. – P. 24-37.
176. Burkhard B., Kroll F., Müller F., Windhorst W. Landscapes' capacities to provide ecosystem services – a concept for land-cover based assessments // *Landscape Online*. – 2009 – № 15. – P. 1–22
177. Burkle L. A., Marlin J. C., Knight T. M. Plant-Pollinator Interactions over 120 Years: Loss of Species, Co-Occurrence, and Function // *Science*. – 2013. – Vol. 339, no. 6127. – P. 1611–1615.

178. Burns K. L. W. The importance and value of insect pollination to apples: a regional case study of key cultivars / K. L. W. Burns, D. A. Stanley // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2022. – Vol. 331. – Article No. 107911.
179. Carreck N. L. Tracking bees with radar / N. L. Carreck, J. L. Osborne, E. A. Capaldi [et al.] // *Bee World*. – 1999. – Vol. 80, No. 3. – P. 124–131.
180. Chen H. Five new species of the genus *Hylaeus* (Hymenoptera: Colletidae) from China / H. Chen, H. Xu // *Zootaxa*. – 2013. – Vol. 3669, No. 3. – P. 331-349. – DOI: 10.11646/zootaxa.3669.3.8.
181. Connelly H. Landscape simplification decreases wild bee pollination services to strawberry / H. Connelly, K. Poveda, G. Loeb // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2015. – Vol. 211. – P. 51–56.
182. Connop S. Microsatellite analysis reveals the spatial dynamics of *Bombus humilis* and *Bombus sylvarum* / S. Connop, T. Hill, J. Steer, P. Shaw // *Insect Conservation and Diversity*. – 2011. – Vol. 4, No. 3. – P. 212-221.
183. Cooley H. Buzz-pollinated crops: a global review and meta-analysis of the effects of supplemental bee pollination in tomato / H. Cooley, M. Vallejo-Marín // *Journal of Economic Entomology*. – 2021. – Vol. 114, No. 2. – P. 505–519.
184. Corbin L. Phenological and social characterization of three *Lasioglossum* (*Dialictus*) species inferred from long-term trapping collections / L. Corbin, D. Awde, M. Richards // *Journal of Hymenoptera Research*. – 2021. – Vol. 88. – P. 17-38.
185. Costanza R. Changes in the global value of ecosystem services / R. Costanza, R. de Groot, P. Sutton [et al.] // *Global Environmental Change*. – 2014. – Vol. 26. – P. 152–158.
186. Costanza R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed / R. Costanza // *Biological Conservation*. – 2008. – Vol. 141, No. 2. – P. 350-352
187. Costanza R. The value of the world's ecosystem services and natural capital / R. Costanza, R. d'Arge, R. de Groot [et al.] // *Nature*. – 1997. – Vol. 387, No. 15. – P. 253–260.
188. Daily G. C. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems* / G. C. Daily. – Washington, DC : Island Press, 1997. – 392 p.
189. Danforth B. N. The history of early bee diversification based on five genes plus morphology / B. N. Danforth, S. J. Sipes, J. Fang [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2006. – Vol. 103, No. 41. – P. 15118-15123.
190. Daw T. M. Elasticity in ecosystem services: exploring the variable relationship between ecosystems and human well-being / T. M. Daw, C. C. Hicks, K. Brown [et al.] // *Ecology and Society*. – 2016. – Vol. 21, No. 2. – Article No. 11.
191. Delgado-Carrillo O. Pollination services to crops of watermelon (*Citrullus lanatus*) and green tomato (*Physalis ixocarpa*) in the coastal region of Jalisco, Mexico / O. Delgado-Carrillo, S. Martén-Rodríguez, D. Ramírez-Mejía [et al.] // *PLOS ONE*. – 2024. – Vol. 19, No. 7. – Article No. e0301402.

192. Dolphin R. E. Associates of the native bee, *Halictus (Seladonia) confusus* Smith (Hymenoptera: Halictidae) / R. E. Dolphin // Proceedings of the Indiana Academy of Science. – 1978. – Vol. 88. – P. 228-234.
193. Drechsler M. A game-theoretic systematics of conservation and management of spatial ecosystem services / M. Drechsler // Natural Resource Modeling. – 2024. – Vol. 37, No. 4. – Article No. e12404.
194. Duelli P. Regional biodiversity in an agricultural landscape: the contribution of seminatural habitat islands / P. Duelli, M. K. Obrist // Basic and Applied Ecology. – 2003. – Vol. 4, No. 2. – P. 129-138.
195. Ehrlich P. R. Extinction, substitution, and ecosystem services / P. R. Ehrlich, H. A. Mooney // BioScience. – 1983. – Vol. 33, No. 4. – P. 248-254.
196. Ehrlich P. R. Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species / P. R. Ehrlich, A. H. Ehrlich. – New York : Random House, 1981. – 384 p.
197. Ekroos J. Effects of landscape composition and configuration on pollination in a native herb: a field experiment / J. Ekroos, A. Jakobsson, J. Wideen [et al.] // Oecologia. – 2015. – Vol. 179, No. 2. – P. 509-518.
198. Ellis E. C. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world / E. C. Ellis, N. Ramankutty // Frontiers in Ecology and the Environment. – 2008. – Vol. 6, No. 8. – P. 439-447.
199. Encyclopedia of Systems Biology / edited by O. Wolkenhauer, W. Dubitzky, H. Yokota, K. Cho. – New York: Springer, 2013. – 2367 p.
200. Everaars J. The response of solitary bees to landscape configuration with focus on body size and nest-site preference: PhD dissertation / Jeroen Everaars ; Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Naturwissenschaftliche Fakultät I Biowissenschaften. – Halle (Saale), 2012. – xii, 169 p.: ill.
201. Ferrier P. Despite Elevated Loss Rate Since 2006, U.S. Honey Bee Colony Numbers Are Stable / Peyton Ferrier. – Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, 2018. – 34 p. – (Economic Research Report ; No. ERR-256).
202. Fitch G. Roads pose a significant barrier to bee movement, mediated by road size, traffic and bee identity / G. Fitch, C. Vaidya, L. Lach // Journal of Applied Ecology. – 2021. – Vol. 58, No. 6. – P. 1177-1186.
203. Fowler R. E. An investigation into bee assemblage change along an urban-rural gradient: PhD thesis / Robert Edward Fowler ; University of Birmingham. – Birmingham, UK, 2015. – 250 p.
204. Free J. B. Insect Pollination of Crops / J. B. Free. – 2nd ed. – London; San Diego: Academic Press, 1993. – xii, 684 p.
205. Gallai N. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline / N. Gallai, J.-M. Salles, J. Settele [et al.] // Ecological Economics. – 2009. – Vol. 68, No. 3. – P. 810-821.

206. Gardner E. Reliably predicting pollinator abundance: challenges of calibrating process-based ecological models / E. Gardner, T. Breeze, Y. Clough [et al.] // *Methods in Ecology and Evolution*. – 2020. – Vol. 11, No. 12. – P. 1673-1689.
207. Garibaldi L. A. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honeybee abundance / L. A. Garibaldi, I. Steffan-Dewenter, R. Winfree [et al.] // *Science*. – 2013. – Vol. 339, No. 6127. – P. 1608–1611.
208. Gathmann A. Foraging ranges of solitary bees / A. Gathmann, T. Tschardt // *Journal of Animal Ecology*. – 2002. – Vol. 71, No. 5. – P. 757-764.
209. Global Action on Pollination Services for Sustainable Agriculture / Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome, 2000. – URL: <https://www.fao.org/pollination/about> (дата обращения: 30.03.2026).
210. Gogala A. Čebele znoske v Sloveniji (Hymenoptera: Apoidea: Megachilidae) = Megachilid bees of Slovenia (Hymenoptera: Apoidea: Megachilidae) / A. Gogala // *Scopolia: revija Prirodoslovnega muzeja Slovenije = journal of the Slovenian Museum of Natural History* – Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije, 2014. – No. 80. – P. 1-124.
211. Govorushko S. M. Lessons from insect conservation in Russia / S. M. Govorushko, P. Nowicki // *Journal of Insect Conservation*. – 2019. – Vol. 23, No. 1. – P. 1-14.
212. Greenleaf, S.S.; Williams, N.M.; Winfree, R.; Kremen, C. Bee foraging ranges and their relationship to body size // *Oecologia*. – 2007. – No153. – P. 589–596.
213. Groff S. C. Parameterization of the InVEST Crop Pollination Model to spatially predict abundance of wild blueberry (*Vaccinium angustifolium* Aiton) native bee pollinators in Maine, USA / S. C. Groff, C. S. Loftin, F. A. Drummond [et al.] // *Environmental Modelling & Software*. – 2016. – Vol. 79. – P. 1-9.
214. Grunewald K. Erfassung und Bewertung von Ökosystemdienstleistungen (ÖSD) – Erfahrungen, insbesondere aus Deutschland und Russland / K. Grunewald, O. Bastian, A. Drozdov [et al.]. – Bonn – Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (BfN), 2014. – 371 S.
215. Gutiérrez-Briceño, I., Garcia Llorente M., Ortega-Marcos J., Azcárate F., Hevia V. Exploring the effect of landscape composition and agroecological practices on wild bees in horticultural farms. *Basic and Applied Ecology*. –2023. – No71. – P. 33-34.
216. Hadley A. S., Betts M. G. The effects of landscape fragmentation on pollination dynamics: Absence of evidence not evidence of absence // *Biological Reviews*. –2012. – No 87. P. 526–544.
217. Haines-Young R. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure / R. Haines-Young, M. B. Potschin. – Nottingham: Fabis Consulting Ltd., 2018. – 53 p.
218. Häussler J. Pollinator population size and pollination ecosystem service responses to enhancing floral and nesting resources / J. Häussler, U. Sahlin, C. Baey [et al.] // *Ecology and Evolution*. – 2017. – Vol. 7, No. 6. – P. 1898-1908.

219. Hettmansperger T. P. Robust Nonparametric Statistical Methods / T. P. Hettmansperger, J. W. McKean. – London: Arnold; New York: J. Wiley & Sons, 1998. – xiv, 467 p.
220. Hinsch M. The influence of model choice and input data on pollinator habitat suitability in the Hannover region / M. Hinsch, J. Groß, B. Burkhard // PLOS ONE. – 2024. – Vol. 19, No. 9. – Article No. e0305731.
221. Hofmann M. M. Foraging distances in six species of solitary bees with body lengths of 6 to 15 mm, inferred from individual tagging, suggest 150 m-rule-of-thumb for flower strip distances / M. M. Hofmann, A. Fleischmann, S. S. Renner // Journal of Hymenoptera Research. – 2020. – Vol. 77. – P. 105-117.
222. Holt A.R., Alix A., Thompson A., Maltby L., Food production, ecosystem services and biodiversity: We can't have it all everywhere // Science of The Total Environment. – 2016. – V.573. – P. 1422–1429.
223. Huang X. Comparative performance and transcriptomics of tomato (*Solanum lycopersicum*) in response to *Bombus terrestris* (Hymenoptera, Apidae) and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid / X. Huang, Y. Huang, X. Dai [et al.] // Arthropod-Plant Interactions. – 2024. – Vol. 18, No. 2. – P. 241-251.
224. Hudewenz A. Cross-pollination benefits differ among oilseed rape varieties / A. Hudewenz, G. Pufal, A.-L. Bögeholz, A.-M. Klein // The Journal of Agricultural Science. – 2014. – Vol. 152, No. 5. – P. 770-778.
225. Integrating Ecology and Poverty Reduction: Ecological Dimensions / edited by S. M. Smukler, S. M. Philpott, L. E. Jackson, A. M. Klein. – New York : Springer Science+Business Media, 2012. – 396 p.
226. International Pollinators Initiative: The São Paulo Declaration on Pollinators: report on the recommendations of the Workshop on the Conservation and Sustainable Use of Pollinators in Agriculture with Emphasis on Bees / B. F. Dias, A. Raw, V. L. Imperatriz-Fonseca. – Brasília: Brazilian Ministry of the Environment (MMA), 1999. – 66 p.
227. InVEST: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs / Natural Capital Project. – Version 3.14.2. – Stanford: Stanford University, 2024. – URL: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest> (дата обращения: 17.03.2026).
228. IPBES. Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production / S. G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, H. T. Ngo [et al.]. – Bonn: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2016. – 36 p.
229. Jaeger J. A. G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation / J. A. G. Jaeger // Landscape Ecology. – 2000. – Vol. 15, No. 2. – P. 115-130.
230. Janzen D. H. The deflowering of Central America / D. H. Janzen // Natural History. – 1974. – Vol. 83, No. 4. – P. 48-53.

231. Jax K. Ecosystem functions: a critical perspective / K. Jax // *Routledge Handbook of Ecosystem Services* / edited by M. Potschin, R. Haines-Young, R. Fish, R. K. Turner. – London; New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2016. – P. 33-35.
232. Joshi N. K. Comparative trapping efficiency to characterize bee abundance, diversity, and community composition in apple orchards / N. K. Joshi, T. Leslie, E. G. Rajotte [et al.] // *Annals of the Entomological Society of America*. – 2015. – Vol. 108, No. 5. – P. 785-799.
233. Jung M. LecoS – a Python plugin for automated landscape ecology analysis / M. Jung // *Ecological Informatics*. – 2016. – Vol. 31. – P. 18-21.
234. Kašpar V. Assessing the effects of climate protection measures on pollination services and landscape heterogeneity: a case study of rewetting and paludiculture implementation in the Upper Rhinluch, Brandenburg, Germany / V. Kašpar, M. Glemnitz, J. Reger // *GIS in agriculture, forestry and natural resources management : proceedings of the 23rd international conference, 24–28 February 2025, Špindlerův Mlýn, Czech Republic* / edited by V. Voženílek, A. Kozelková. – Olomouc: Palacký University, 2025. – P. 112-120.
235. Kearns C. A. Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions / C. A. Kearns, D. W. Inouye, N. M. Waser // *Annual Review of Ecology and Systematics*. – 1998. – Vol. 29, No. 1. – P. 83-112.
236. Kells A. R. Preferred nesting sites of bumblebee queens (Hymenoptera: Apidae) in agroecosystems in the UK / A. R. Kells, D. Goulson // *Biological Conservation*. – 2003. – Vol. 109, No. 2. – P. 165-174.
237. Kennedy C. M. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems / C. M. Kennedy, E. Lonsdorf, M. C. Neel [et al.] // *Ecology Letters*. – 2013. – Vol. 16, No. 5. – P. 584-599.
238. Kerr J. T. Climate change impacts on bumblebees converge across continents / J. T. Kerr, A. Pindar, P. Galpern [et al.] // *Science*. – 2015. – Vol. 349, No. 6244. – P. 177-180.
239. Klein A. M. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops / A. M. Klein, B. E. Vaissière, J. H. Cane [et al.] // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 2007. – Vol. 274, No. 1608. – P. 303-313.
240. Kline O. Mitigating the effects of habitat loss on solitary bees in agricultural ecosystems / O. Kline, N. K. Joshi // *Agriculture*. – 2020. – Vol. 10, No. 4. – Article No. 115.
241. Knight M. E. An interspecific comparison of foraging range and nest density of four bumblebee (*Bombus*) species / M. E. Knight, A. P. Martin, S. Bishop [et al.] // *Molecular Ecology*. – 2005. – Vol. 14, No. 6. – P. 1811-1820.
242. Koh I. Modeling the status, trends, and impacts of wild bee abundance in the United States / I. Koh, E. V. Lonsdorf, N. M. Williams [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2016. – Vol. 113, No. 1. – P. 140-145.
243. Kremen C. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change / C. Kremen, N. M. Williams, M. A. Aizen [et al.] // *Ecology Letters*. – 2007. – Vol. 10, No. 4. – P. 299-314.

244. Kremen C. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California / C. Kremen, N. M. Williams, R. L. Bugg [et al.] // *Ecology Letters*. – 2004. – Vol. 7, No. 11. – P. 1109-1119.
245. Kruse A. Glossary on agricultural landscapes / A. Kruse, C. Centeri, H. Renes [et al.] // *Tájökológiai Lapok*. – 2010. – Vol. 8, Special Issue. – P. 99-129.
246. Landis D. A. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services / D. A. Landis // *Basic and Applied Ecology*. – 2017. – Vol. 18. – P. 1-12.
247. Leza M. Effects of neonicotinoid insecticide exposure and monofloral diet on nest-founding bumblebee queens / M. Leza, K. M. Watrous, J. Bratu, S. H. Woodard // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 2018. – Vol. 285, No. 1880. – Article No. 20180761.
248. Liss K. N. Variability in ecosystem service measurement: a pollination service case study / K. N. Liss, M. G. E. Mitchell, G. K. MacDonald [et al.] // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2013. – Vol. 11, No. 8. – P. 414-422. – DOI: 10.1890/120189.
249. Lonsdorf E. Modelling pollination services across agricultural landscapes / E. Lonsdorf, C. Kremen, T. Ricketts [et al.] // *Annals of Botany*. – 2009. – Vol. 103, No. 9. – P. 1589-1600.
250. Mace G. M. Conceptual framework and methodology / G. M. Mace, I. J. Bateman // *UK National Ecosystem Assessment: Understanding Nature's Value to Society: technical report*. – Cambridge: UNEP-WCMC, 2011. – P. 11-26.
251. Mashilingi S. K. Honeybees are far too insufficient to supply optimum pollination services in agricultural systems worldwide / S. K. Mashilingi, H. Zhang, L. A. Garibaldi, J. An // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2022. – Vol. 335. – Article No. 108003.
252. McGarigal K. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps / K. McGarigal, S. A. Cushman, E. Ene. – Version 4.2. – Amherst: University of Massachusetts, 2012. – URL: <https://www.fragstats.org/> (дата обращения: 17.03.2026).
253. Michener C. D. *The Bees of the World* / Charles D. Michener. – 2nd ed. – Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2007. – xvi, 953 p.
254. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis / Millennium Ecosystem Assessment*. – Washington, DC: Island Press, 2005. – 80 p.
255. Mueller N. D. Closing yield gaps through nutrient and water management / N. D. Mueller, J. S. Gerber, M. Johnston [et al.] // *Nature*. – 2012. – Vol. 490, No. 7419. – P. 254-257.
256. Muñoz P. T. Effects of roads on insects: a review / P. T. Muñoz, F. P. Torres, A. G. Megías // *Biodiversity and Conservation*. – 2015. – Vol. 24, No. 3. – P. 659-682.
257. Nicholson C. C. Farm and landscape factors interact to affect the supply of pollination services / C. C. Nicholson, I. Koh, L. L. Richardson [et al.] // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2017. – Vol. 250. – P. 113-122.

258. Nielsen A. Effects of competition and climate on a crop pollinator community / A. Nielsen, T. Reitan, A. W. Rinvoll, A. K. Brysting // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2017. – Vol. 246. – P. 253-260.
259. Nikita. Colony collapse disorder: a peril to apiculture / Nikita, A. Kumar, P. Kumari [et al.] // *Journal of Applied and Natural Science*. – 2022. – Vol. 14, No. 3. – P. 729-739.
260. Nogué S. Pollination service delivery for European crops: challenges and opportunities / S. Nogué, P. R. Long, A. E. Eycott [et al.] // *Ecological Economics*. – 2016. – Vol. 128. – P. 1-7.
261. Norberg A. A comprehensive evaluation of predictive performance of 33 species distribution models at species and community levels / A. Norberg, N. Abrego, F. G. Blanchet [et al.] // *Ecological Monographs*. – 2019. – Vol. 89, No. 3. – Article No. e01370.
262. Olsson O. Modeling pollinating bee visitation rates in heterogeneous landscapes from foraging theory / O. Olsson, A. Bolin, H. G. Smith, E. V. Lonsdorf // *Ecological Modelling*. – 2015. – Vol. 316. – P. 133-143.
263. Ouyang F. Evaluation of insect pollination and service value in China's agricultural ecosystems / F. Ouyang, L. Wang, Z. Yan [et al.] // *Acta Ecologica Sinica*. – 2019. – Vol. 39, No. 1. – P. 131-145.
264. Oz M. Effect of honeybees pollination on seed setting, yield and quality characteristics of rapeseed (*Brassica napus oleifera*) / M. Oz, A. Karasu, I. Cakmak [et al.] // *Indian Journal of Agricultural Sciences*. – 2008. – Vol. 78, No. 8. – P. 680-683.
265. Özbek H. The bees of the genus *Hylaeus* Fabricius, 1793 of Turkey, with keys to the subgenera and species (Hymenoptera: Anthophila, Colletidae) / H. Özbek, H. H. Dathe // *Contributions to Entomology*. – 2020. – Vol. 70, No. 2. – P. 273-346.
266. Packer L. A phylogenetic analysis of western European species of the *Lasioglossum leucozonium* species-group (Hymenoptera: Halictidae): sociobiological and taxonomic implications / L. Packer // *Canadian Journal of Zoology*. – 1998. – Vol. 76, No. 9. – P. 1611-1621.
267. Perennes M. A hierarchical framework for mapping pollination ecosystem service potential at the local scale / M. Perennes, T. Diekötter, J. Groß, B. Burkhard // *Ecological Modelling*. – 2021. – Vol. 444. – Article No. 109484.
268. Peterson J. H. Impacts of flight distance on sex ratio and resource allocation to offspring in the leafcutter bee, *Megachile rotundata* / J. H. Peterson, B. D. Roitberg // *Behavioral Ecology and Sociobiology*. – 2006. – Vol. 59, No. 5. – P. 589-596.
269. Polce C. Species Distribution Models for Crop Pollination: a modelling framework applied to Great Britain / C. Polce, M. Termansen, J. Aguirre-Gutiérrez [et al.] // *PLoS ONE*. – 2013. – Vol. 8, No. 10. – Article No. e76308.
270. Portus R. An Ecological Whodunit: the story of Colony Collapse Disorder / R. Portus // *Society & Animals*. – 2020. – Vol. 31, No. 3. – P. 1-19.

271. Potts S. G. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers / S. G. Potts, J. C. Biesmeijer, C. Kremen [et al.] // *Trends in Ecology & Evolution*. – 2010. – Vol. 25, No. 6. – P. 345-353.
272. Potts S. G. Robotic bees for crop pollination: why drones cannot replace biodiversity / S. G. Potts, P. Neumann, B. Vaissière, N. J. Vereecken // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 642. – P. 665-667.
273. Potts S. G. Role of nesting resources in organizing diverse bee communities in a Mediterranean landscape / S. G. Potts, B. Vulliamy, S. Roberts [et al.] // *Ecological Entomology*. – 2005. – Vol. 30, No. 1. – P. 78-85.
274. Power A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies / A. G. Power // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 2010. – Vol. 365, No. 1554. – P. 2959-2971.
275. Pretty J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence / J. Pretty // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 2008. – Vol. 363, No. 1491. – P. 447-465.
276. Rahimi E. PollMap: a software for crop pollination mapping in agricultural landscapes / E. Rahimi, S. Barghjelveh, P. Dong // *Journal of Ecology and Environment*. – 2021. – Vol. 45. – Article No. 27.
277. Rahimi E. Using the Lonsdorf model for estimating habitat loss and fragmentation effects on pollination service / E. Rahimi, S. Barghjelveh, P. Dong // *Ecological Processes*. – 2021. – Vol. 10, No. 1. – Article No. 22.
278. Ramankutty N. Farming the planet: Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000 / N. Ramankutty, A. T. Evan, C. Monfreda, J. A. Foley // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2008. – Vol. 22, No. 1. – Article No. GB1003.
279. Redhead J. W. Effects of habitat composition and landscape structure on worker foraging distances of five bumblebee species / J. W. Redhead, S. Dreier, A. F. G. Bourke [et al.] // *Ecological Applications*. – 2016. – Vol. 26, No. 3. – P. 726-739.
280. Rey Benayas J. M. Abandonment of agricultural land: an overview of drivers and consequences / J. M. Rey Benayas, A. Martins, J. M. Nicolau, J. J. Schulz // *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. – 2007. – Vol. 2, No. 057. – P. 1-14.
281. Ricketts T. H. Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? / T. H. Ricketts, J. Regetz, I. Steffan-Dewenter [et al.] // *Ecology Letters*. – 2008. – Vol. 11, No. 5. – P. 499-515.
282. Romasenko L. P. Comparative characteristic of fauna of Megachilid bees of Reservations and other territories of Ukraine / L. P. Romasenko // *Changes in fauna of Wild bees in Europe* / edited by J. Banaszak. – Bydgoszcz : Pedagogical University Press, 1995. – P. 65-74.

283. Ruticumugambi J. A. Local-scale tree cover modulates pollination services and crop yield in tropical agroforestry landscapes, Rwanda / J. A. Ruticumugambi, P. De Smedt, H. Verbeeck [et al.] // *Landscape Ecology*. – 2025. – Vol. 40, No. 9. – Article No. 182.
284. Schmid-Hempel P. Foraging effort and life span of workers in a social insect / P. Schmid-Hempel, T. Wolf // *Journal of Animal Ecology*. – 1988. – Vol. 57, No. 2. – P. 509-521.
285. Seidelmann K. Open-cell parasitism shapes maternal investment patterns in the Red Mason bee *Osmia rufa* / K. Seidelmann // *Behavioral Ecology*. – 2006. – Vol. 17, No. 5. – P. 839-848.
286. Sharp R. InVEST 3.9.2. User's Guide / R. Sharp, J. Douglass, S. Wolny [et al.]. – Stanford: The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund, 2020.
287. Simoncini R. Constraints and opportunities for mainstreaming biodiversity and ecosystem services in the EU's Common Agricultural Policy: Insights from the IPBES assessment for Europe and Central Asia / R. Simoncini, I. Ring, C. Sandström [et al.] // *Land Use Policy*. – 2019. – Vol. 88. – Article No. 104099.
288. Stachow U. Indicators of Landscape Functions Related to Modifications and Patterns of Agricultural Landscapes / U. Stachow, J. Hufnagel, M. Glemnitz [et al.]. – Ås: NIJOS (Norwegian Institute of Land Inventory), 2003. – 45 p.
289. Steffan-Dewenter I. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds / I. Steffan-Dewenter, U. Muenzenberg, C. Buerger [et al.] // *Ecology*. – 2002. – Vol. 83, No. 5. – P. 1421-1432.
290. Svensson B. Habitat preferences of nest-seeking bumble bees (Hymenoptera: Apidae) in an agricultural landscape / B. Svensson, J. Lagerlöf, B. G. Svensson // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. – 2000. – Vol. 77, No. 3. – P. 247-255.
291. Swinton S. M. Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits / S. M. Swinton, F. Lupi, G. P. Robertson, S. K. Hamilton // *Ecological Economics*. – 2007. – Vol. 64, No. 2. – P. 245-252.
292. *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture* / J. Bélanger & D. Pilling (eds.). – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2019. – 572 p.
293. Torchio P. F. Use of non-honeybee species as pollinators of crops / P. F. Torchio // *Proceedings of the Entomological Society of Canada*. – 1987. – No. 118. – P. 111-124.
294. Turner R. K. The ecosystem services framework and natural capital conservation / R. K. Turner, G. C. Daily // *Environmental and Resource Economics*. – 2008. – Vol. 39, No. 1. – P. 25-35.
295. Vanteeva V. J. Ecosystem function of steppe landscapes near Lake Baikal / V. J. Vanteeva, S. V. Solodyankina // *Hacquetia*. – 2015. – Vol. 14, No. 1. – P. 65-78.

296. Veldtman R. Valuing insect pollination services to safeguard crop pollination in South Africa / R. Veldtman, W. J. de Lange // *Insects*. – 2025. – Vol. 16, No. 12. – Article No. 1190.
297. Venturini E. M. Pollination reservoirs for wild bee habitat enhancement in cropping systems: a review / E. M. Venturini, F. A. Drummond, A. K. Hoshide [et al.] // *Agroecology and Sustainable Food Systems*. – 2017. – Vol. 41, No. 2. – P. 101-142.
298. Wallace K. J. Classification of ecosystem services: problems and solutions / K. J. Wallace // *Biological Conservation*. – 2007. – Vol. 139, No. 3-4. – P. 235-246.
299. Williams N. M. Life history and resource distributions determine bee sensitivity to land-use change / N. M. Williams, E. Lonsdorf, J. Forrest // 97th Annual Meeting of the Ecological Society of America : abstracts. – Portland, OR: ESA, 2012. – P. 123.
300. Willmer P. G. Insights from measuring pollen deposition: quantifying the pre-eminence of bees as flower visitors and effective pollinators / P. G. Willmer, H. Cunnold, G. Ballantyne // *Arthropod-Plant Interactions*. – 2017. – Vol. 11, No. 3. – P. 411-425.
301. Willmer P. G. The Global Pollination Crisis / P. G. Willmer // *Pollination and Floral Ecology* / P. G. Willmer. – Princeton : Princeton University Press, 2011. – P. 456-478.
302. Woodcock B. A. Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honeybees and wild bees / B. A. Woodcock, J. M. Bullock, R. F. Shore [et al.] // *Science*. – 2017. – Vol. 356, No. 6345. – P. 1393-1395.
303. Wright I. R. Evidence of forage distance limitations for small bees (Hymenoptera: Apidae) / I. R. Wright, S. P. M. Roberts, B. E. Collins // *European Journal of Entomology*. – 2015. – Vol. 112, No. 2. – P. 303-310.
304. Yu M. The bees of the genus *Hylaeus* Fabricius 1793 of the Asian part of Russia, with a key to species (Hymenoptera: Apoidea: Colletidae) / M. Yu, H. H. Dathe // *Zootaxa*. – 2012. – No. 3401. – P. 1-36.
305. Zhang W. Ecosystem services and dis-services to agriculture / W. Zhang, T. H. Ricketts, C. Kremen [et al.] // *Ecological Economics*. – 2007. – Vol. 64, No. 2. – P. 253-260.
306. Zhu H. Applications of CRISPR–Cas in agriculture and plant biotechnology / H. Zhu, C. Li, C. Gao // *Nature Reviews Molecular Cell Biology*. – 2020. – Vol. 21, No. 11. – P. 661-677.
307. Zulian G. ESTIMAP: a GIS-based model to map ecosystem services in the European Union / G. Zulian, C. Polce, J. Maes // *Annals of Botany*. – 2014. – Vol. 4, No. 1. – P. 1-7.
308. Zurbuchen A. Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances / A. Zurbuchen, L. Landert, J. Klaiber [et al.] // *Biological Conservation*. – 2010. – Vol. 143, No. 3. – P. 669-676.

Приложение I. Карта-схема Венёвского лесничества

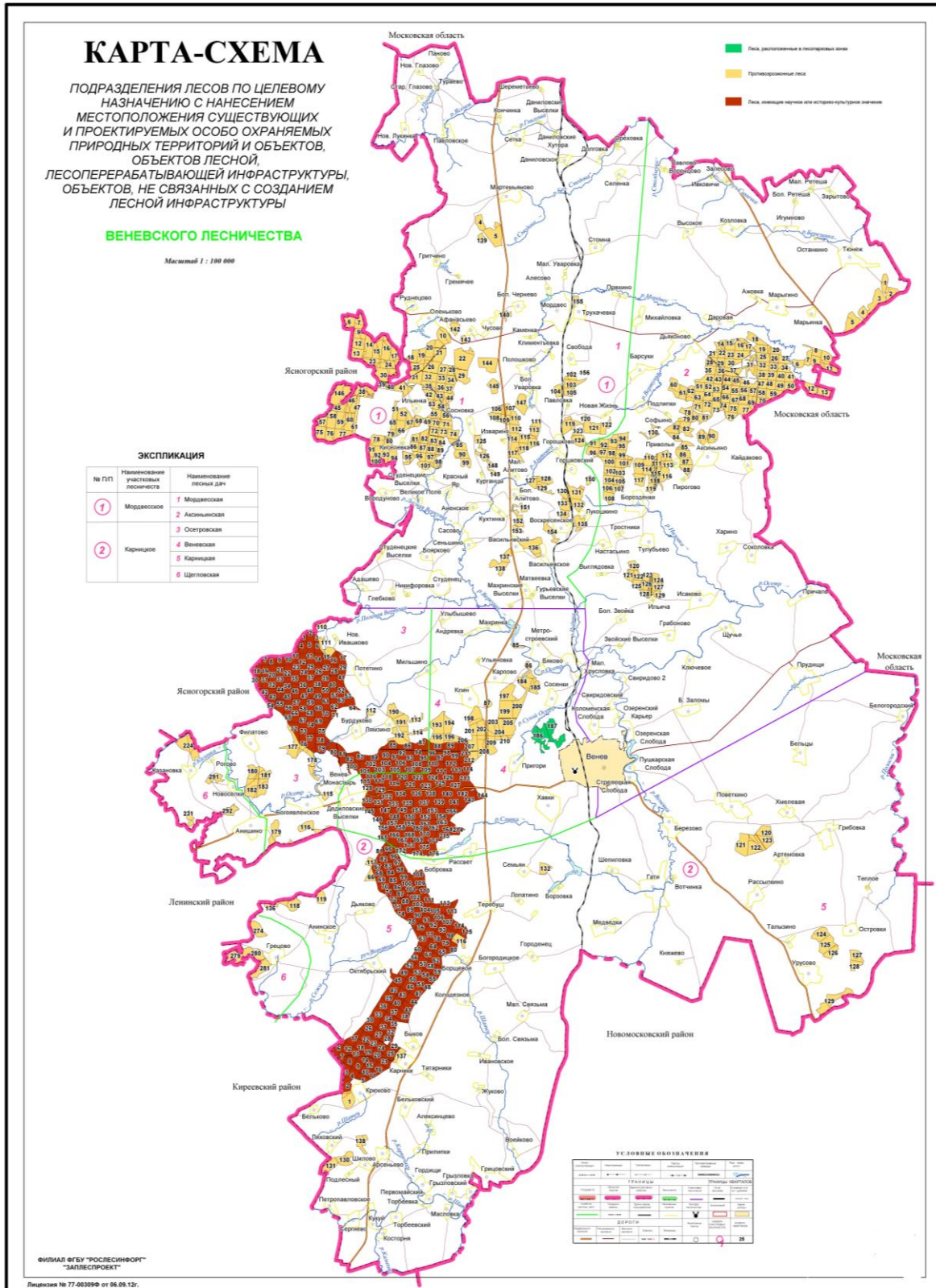


Рисунок I.1 – Карта-схема Венёвского лесничества. Источник: Министерство природных ресурсов и экологии Тульской области: <https://ekolog.tularegion.ru/documents> (дата обращения 15.07.2025)

Приложение II. Апидофауна Венёвского района Тульской области

Таблица II – Характеристика видов пчёл Венёвского района

№	Семейство	Вид	Гильдия	Формы социальности	Биотоп	Лектические связи	Опыляемые культуры	Гнездование	Активность (по месяцам)					Размер, мм*	R м
									V	VI	VII	VIII	IX		
1	Colletidae	<i>Colletes cunicularius</i>	Ground-solitary1	агрегации гнезд	влажнолуговой	Поли	вишня, яблоня, груша	Р	X					12-15	350
2	Colletidae	<i>Hylaeus angustatus</i>	Cavity-nesting	одиночно	влажнолуговой	Поли	гречиха	ГП (стебли)		X	X	X		4,5-5	100 225
3	Colletidae	<i>Hylaeus brevicornis</i>	Cavity-nesting	одиночно	сухолуговой	Поли	плодовые	ГП (стебли)		X	X	X		4,5-5	100 225
4	Colletidae	<i>Hylaeus cardioscapus</i>	Cavity-nesting	одиночно	лесной, луговой	Поли (<i>Asteraceae</i> , <i>Rosaceae</i>)		ГП (стебли, ходы в древесине)		X	X	X		6,3	100 225
5	Colletidae	<i>Hylaeus communis</i>	Cavity-nesting	одиночно	эвритоп	Поли	гречиха	ГП		X	X	X	X	5,5-6,5	100 225
6	Colletidae	<i>Hylaeus confusus</i>	Cavity-nesting	одиночно	эвритоп	Поли		ГП (стебли)		X	X	X		5-9	100 225
7	Colletidae	<i>Hylaeus difformis</i>	Cavity-nesting	одиночно	эвритоп	Поли		ГП		X	X	X		6,5-7,5	100 225
8	Colletidae	<i>Hylaeus dilatatus</i>	Cavity-nesting	одиночно	луговой	Поли		ГП (стебли)		X	X	X		6-7	100 225
9	Colletidae	<i>Hylaeus hyalinatus</i>	Cavity-nesting	одиночно	луговой	Поли		ГП	X	X	X	X	X	5,5-6,5	100 225
10	Colletidae	<i>Hylaeus paulus</i>	Cavity-nesting	одиночно	луговой	Поли		ГП	X	X	X	X	X	4-5	100 225
11	Andrenidae	<i>Andrena assimilis</i>	Ground-solitary1	одиночно	сухолуговой	Поли		Р (песчаные почвы)	X	X	X			14-16	
12	Andrenidae	<i>Andrena bicolor</i>	Ground-solitary3	одиночно	эвритоп	Поли	клевер, подсолнечник, яблоня, вишня	Р	X	X	X	X		10-12	

Продолжение таблицы II

Семейство	Вид	Гильдия	Формы социальности	Биотоп	Лектические связи	Опыляемые культуры	Гнездование	V	VI	VII	VI II	IX	Размер, мм.	R, м	
13	Andrenidae	<i>Andrena chrysopyga</i>	Ground-solitary1	агрегации гнезд	луговой	Поли		P	X	X	X		12-14		
14	Andrenidae	<i>Andrena cineraria</i>	Ground-solitary1	агрегации гнезд или одиночно	эвритоп	Поли	груша	P (глинистые почвы)	X	X	X		12-15	300	
15	Andrenidae	<i>Andrena coitana</i>	Ground-solitary2	одиночно	лесной	Поли		P		X	X	X	7-9		
16	Andrenidae	<i>Andrena combinata</i>	Ground-solitary1		сухолуговой	Поли		P	X	X			9-10,5		
17	Andrenidae	<i>Andrena congruens</i>	Ground-solitary3		Луговой	Поли		P	X	X	X	X	8-11		
18	Andrenidae	<i>Andrena denticulata</i>	Ground-solitary2		эвритоп	Олиго (<i>Asteraceae</i>)		P		X	X	X	X	9-12	
19	Andrenidae	<i>Andrena dorsata</i>	Ground-solitary3		сухолуговой	Поли	подсолнечник, плодовые (абрикос, алыча, черешня, вишня, яблоня, груша), бобовые (донник аптечный, люцерна), бахчевые, гречиха	P	X	X	X	X	9, 9-10	650	
20	Andrenidae	<i>Andrena falsifica</i>	Ground-solitary1			Поли			X	X			6-7		
21	Andrenidae	<i>Andrena fulvago</i>	Ground-solitary1	агрегации гнезд	эвритоп	Олиго (<i>Asteraceae</i>)		P (песчаные почвы)	X	X			10-11		
22	Andrenidae	<i>Andrena haemorrhoa</i>	Ground-solitary1	агрегации гнезд	эвритоп	Поли	гречиха, подсолнечник, крыжовник, смородина красная, малина, вишня, черешня, персик, слива, груша, яблоня	P (глинистые почвы)	X	X			9-12	100	
23	Andrenidae	<i>Andrena hattorfiana</i>	Ground-solitary2	одиночно	эвритоп	Олиго (<i>Dipsacaceae</i> (<i>Knautia</i>))		P (песчаные почвы)		X	X	X	13-16	130	

Семейство	Вид	Гильдия	Формы социальности	Биотоп	Лектические связи	Опыляемые культуры	Гнездование	V	V I	VII	V II I	I X	Размер, мм.	R, м	
24	Andrenidae	<i>Andrena labialis</i>	Ground-solitary2	коммунальная колония	эвритоп	Олиго (<i>Fabaceae</i>)	гречиха, подсолнечник, бобовые (люцерна, лядвенец, вязель, клевер, донник, чина, эспарцет)	P (глинистые почвы)		X	X			12-14	
25	Andrenidae	<i>Andrena labiata</i>	Ground-solitary1		эвритоп	Поли		P	X	X	X		8-9		
26	Andrenidae	<i>Andrena lathyri</i>	Ground-solitary1	одиночно	влажнолуговой	Олиго (<i>Fabaceae</i>)		P	X	X			13-14		
27	Andrenidae	<i>Andrena lepida</i>	Ground-solitary1	одиночно	Лесной	Поли		P	X	X			10-11		
28	Andrenidae	<i>Andrena minutula</i>	Ground-solitary3		эвритоп	Поли	плодово-ягодные (вишня, яблоня, груша, земляника), бобовые (донники белый и аптечный)	P	X	X	X	X	6-7,5	250 370	
29	Andrenidae	<i>Andrena nitida</i>	Ground-solitary1		эвритоп	Поли	люцерна, черешня, малина, виноград, тыква	P	X	X			14-16		
30	Andrenidae	<i>Andrena ovatula</i>	Ground-solitary3	одиночно	сухолуговые	Поли	бобовые травы (люцерна, донники, клевер)	P	X	X	X	X	8-11		
31	Andrenidae	<i>Andrena paucisquamata</i>	Ground-solitary1		луговой	Олиго (<i>Campanulaceae</i>)		P	X	X			10-12		
32	Andrenidae	<i>Andrena rufizona</i>	Ground-solitary2		известняковые	Олиго (<i>Campanulaceae</i>)		P		X	X		9-12		

Семейство	Вид	Гильдия	Формы социальности	Биотоп	Лектические связи	Опыляемые культуры	Гнездование	V	VI	VII	VIII	IX	Размер, мм.	R, м
33	Andrenidae	<i>Andrena subopaca</i>	Ground-solitary3		эвритоп	Поли	рапс озимый	P	X	X	X		6-7,5	250 370
34	Andrenidae	<i>Andrena thoracica</i>	Ground-solitary1		луговой	Поли		P	X	X	X		14-16	
35	Andrenidae	<i>Andrena tibialis</i>	Ground-solitary1		луговой	Поли	рапс озимый, клевер, подсолнечник, черешня, вишня, яблоня, груша	P	X	X	X		12-14	
36	Andrenidae	<i>Andrena vaga</i>	Ground-solitary1	агрегации гнезд	эвритоп	Поли	донник	P	X	X			14-15	260
37	Halictidae	<i>Dufourea inermis</i>	Ground-solitary2	одиночно	эвритоп	Олиго (<i>Campanulaceae</i>)		P		X	X	X	6.5-8.0	
38	Halictidae	<i>Rhophitoides canus</i>	Ground-solitary2	агрегации гнезд	сухолуговые	Олиго (<i>Fabaceae</i>)	подсолнечник, бобовые (астрагал, вязель, клевера, люцерна, лядвенец, эспарцет)	P		X	X		7,5	36
39	Halictidae	<i>Rophites algius</i>	Ground-solitary2	одиночно	степной вид	Олиго (<i>Lamiaceae</i>)		P		X	X	X	9	
40	Halictidae	<i>Rophites quinquespinosus</i>	Ground-solitary2	агрегации гнезд		Олиго (<i>Lamiaceae</i>)	бобовые травы (лядвенец), подсолнечник	P		X	X		8.5-10.5	
41	Halictidae	<i>Systropha planidens</i>	Ground-solitary2	агрегации гнезд	сухолуговые	Олиго (<i>Convolvulaceae</i>)	бахчевые (дыня, тыква)	P		X	X	X	9.0-11.0	100

Продолжение таблицы II

Семейств о	Вид	Гильдия	Формы социальности	Биотоп	Лектические связи	Опыляемые культуры	Гнездование	V	VI	VII	VIII	IX	Размер, мм.	R, м	
42	Halictidae	<i>Halictus confusus</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии	лесной	Поли	клевер	P (песчаные почвы)	X	X	X	X	X	7-8	
43	Halictidae	<i>Halictus maculatus</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии		Поли	гречиха, люцерна, бахчевые (арбуз, тыква)	P	X	X	X	X	X	7-9	
44	Halictidae	<i>Halictus quadricinctus</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии	луговой	Поли (<i>Asteraceae</i>)	подсолнечник, бахчевые (тыква)	P	X	X	X	X	X	14-15	
45	Halictidae	<i>Halictus simplex</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии	сухолуговой	Поли	яблоня, гречиха, люцерна	P	X	X	X	X	X	10-11	
46	Halictidae	<i>Halictus subauratus</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии		Поли (<i>Asteraceae</i>)	яблоня, подсолнечник, гречиха	P	X	X	X	X	X	7-8	
47	Halictidae	<i>Halictus tumulorum</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии	эвритоп	Поли (<i>Asteraceae</i>)		P	X	X	X	X	X	6-7,5	250 370
48	Halictidae	<i>Lasioglossum calceatum</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии	эвритоп	Поли	вишня, подсолнечник, абрикос, алыча, черешня, вишня, слива, яблоня, подсолнечник, гречиха, донники, рапс озимый, тыква	P	X	X	X	X	X	8,5-10	700
49	Halictidae	<i>Lasioglossum fulvicorne</i>	Ground-social	одиночно	эвритоп	Поли	садовые розоцветные	P	X	X	X	X	X	5,5-6	1250, 250-370
50	Halictidae	<i>Lasioglossum interruptum</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии	эвритоп	Поли	люцерна, бахчевые (арбуз, тыква)	P	X	X	X	X	X	5-7	
51	Halictidae	<i>Lasioglossum laevigatum</i>	Ground-solitary1	агрегации гнезд		Поли		P	X	X	X			7,5-8	
52	Halictidae	<i>Lasioglossum leucopum</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии	лесной	Поли		P	X	X	X	X	X	5	250-370

Семейство	Вид	Гильдия	Формы социальности	Биотоп	Лектические связи	Опыляемые культуры	Гнездование	V	VI	VII	VIII	IX	Размер, мм.	R, м	
53	Halictidae	<i>Lasioglossum morio</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии	эвритоп	Поли		P	X	X	X	X	X	5-6	250-370
54	Halictidae	<i>Lasioglossum nitidulum</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии		Поли		P	X	X	X	X	X	6	
55	Halictidae	<i>Lasioglossum pauxillum</i>	Ground-social	примитивно-эусоциальные колонии	сухолуговой	Поли (<i>Asteraceae</i>)	плодовые	P	X	X	X	X	X	6	480
56	Halictidae	<i>Lasioglossum puncticolle</i>	Ground-social	одиночно		Поли (<i>Asteraceae</i>)		P	X	X	X	X	X	6-7	
57	Halictidae	<i>Lasioglossum xanthopus</i>	Ground-social	субсоциальные колонии		Поли		P	X	X	X	X	X	11-12	
58	Halictidae	<i>Lasioglossum zonulum</i>	Ground-social	субсоциальные колонии	эвритоп	Поли		P	X	X	X	X	X	10	
59	Melittidae	<i>Dasygoda Radchenko</i>	Ground-solitary2	агрегации гнезд	степной вид	Олиго (<i>Dipsacaceae</i>)	бахчевые	P (песчаные почвы)		X	X	X		10-14	
60	Melittidae	<i>Macropis europaea</i>	Ground-solitary2	агрегации гнезд	влажнолуговые	Олиго (<i>Primulaceae</i> (<i>Lysimachia</i>))		P		X	X	X		8-9	
61	Melittidae	<i>Melitta haemorrhoidalis</i>	Ground-solitary2	агрегации гнезд	луговой (+ опушки лесов)	Олиго (<i>Campanulaceae</i>)	хозяйственного значения не имеет	P (песчаные или рыхлые почвы)		X	X	X		12-13	
62	Melittidae	<i>Melitta leporina</i>	Ground-solitary2	небольшие агрегации гнезд	сухолуговой	Поли (<i>Fabaceae</i>)	люцерна, эспарцет, клевера	P		X	X	X		11-13	
63	Melittidae	<i>Melitta melanura</i>	Ground-solitary2	одиночно	луговой	Олиго (<i>Campanulaceae</i>)	хозяйственного значения не имеет	P		X	X	X		10-13	
64	Melittidae	<i>Melitta nigricans</i>	Ground-solitary2	одиночно	влажнолуговые	Олиго (<i>Lythraceae</i>)		P			X	X		11-13	
65	Megachilidae	<i>Lithurgus cornutus</i>	Wood-nesting	агрегации гнезд	луговой	Олиго (<i>Asteraceae</i>)	подсолнечник	Гр (древесина)		X	X	X		16,8	
66	Megachilidae	<i>Chelostoma campanularum</i>	Wood-nesting	агрегации гнезд	сухолуговой	Олиго (<i>Campanulaceae</i>)		ГП (древесина)		X	X			5,5 ± 0,8	
67	Megachilidae	<i>Chelostoma distinctum</i>	Wood-nesting	одиночно		Олиго (<i>Campanulaceae</i>)		ГП (древесина)		X	X			5,4 ± 0,4	

Продолжение таблицы II

Семейство	Вид	Гильдия	Формы социальности	Биотоп	Лектические связи	Опыляемые культуры	Гнездование	V	VI	VII	VIII	IX	Размер, мм.	R, м
68	Megachilidae	<i>Chelostoma florissomne</i>	Cavity-nesting	агрегации гнезд	лесной	Олиго (<i>Ranunculaceae</i>)	ГП	X	X	X			5,5	100-300
69	Megachilidae	<i>Heriades truncorum</i>	Wood-nesting	агрегации гнезд	сухолуговой	Олиго (<i>Asteraceae</i>)	ГП (древесина)		X	X	X	X	6-8,5	300
70	Megachilidae	<i>Hoplitis tridentata</i>	Cavity-nesting	одиночно	луговой	Олиго (<i>Fabaceae</i>)	клевер, подсолнечник	ГП (стебли)		X	X		10-13	300
71	Megachilidae	<i>Osmia leaiana</i>	Wood-nesting	одиночно	лесной	Олиго (<i>Asteraceae</i>)		ГП (древесина)	X	X	X	X	9-10	500
72	Megachilidae	<i>Osmia spinulosa</i>	Cavity-nesting	одиночно	известняки	Олиго (<i>Asteraceae</i>)	подсолнечник	ГП (раковины)		X	X	X	7-8	500
73	Megachilidae	<i>Anthidium manicatum</i>	Cavity-nesting	одиночно	эвритоп	Поли (<i>Fabaceae, Lamiaceae</i>)		ГП		X	X	X	11-13	100
74	Megachilidae	<i>Pseudoanthidium nanum</i>	Cavity-nesting	одиночно		Олиго (<i>Asteraceae</i>)		ГП (стебли)		X	X	X	8	
75	Megachilidae	<i>Megachile centuncularis</i>	Cavity-nesting	одиночно		Поли (<i>Fabaceae, Asteraceae</i>)	подсолнечник, бобовые (люцерна, лядвенец), овощные и бахчевые	ГП		X	X	X	9-10	
76	Megachilidae	<i>Megachile lagopoda</i>	Ground-solitary ²		сухолуговой	Поли (<i>Asteraceae</i>)	подсолнечник	Р (песчаные почвы) / ГП		X	X	X	15-18	
77	Megachilidae	<i>Megachile rotundata</i>	Cavity-nesting	агрегации гнезд	сухолуговой	Поли (<i>Fabaceae, Asteraceae, Lamiaceae</i>)	люцерна и др. бобовые	ГП		X	X	X	8,5	400
78	Megachilidae	<i>Megachile versicolor</i>	Cavity-nesting		эвритоп	Поли (<i>Asteraceae, Fabaceae</i>)		ГП		X	X	X	11-14	
79	Megachilidae	<i>Megachile willughbiella</i>	Wood-nesting	коммунальная колония	эвритоп	Поли (<i>Asteraceae, Fabaceae</i>)	люцерна	Гр (древесина)		X	X	X	12-14	

Семейство	Вид	Гильдия	Формы социальности	Биотоп	Лектические связи	Опыляемые культуры	Гнездование	V	VI	VII	VIII	IX	Размер, мм.	R, м	
80	Apidae	<i>Ceratina cyanea</i>	Cavity-nesting	примитивно-эусоциальные колонии	луговой	Поли	гречиха	ГП - стебли	X	X	X	X	X	5-9	
81	Apidae	<i>Anthophora aestivalis</i>	Ground-solitary1	одиночно		Поли (<i>Fabaceae</i> , <i>Lamiaceae</i> , <i>Boraginaceae</i>)		P	X	X	X			14-15	
82	Apidae	<i>Anthophora furcata</i>	Wood-nesting		лесной	Олиго (<i>Lamiaceae</i>)		Гр (древесина)		X	X	X		11-12	
83	Apidae	<i>Eucera longicornis</i>	Ground-solitary1	одиночно	луговой	Поли	люцерна, эспарцет	P (глинистые почвы)	X	X	X	X		12-16	
84	Apidae	<i>Eucera rufipes</i>	Ground-solitary1	агрегации гнезд	луговой	Поли	люцерна	P	X	X	X				
85	Apidae	<i>Tetraloniella salicariae</i>	Ground-solitary2	одиночно	влажнолуговой	Поли		P		X	X	X		10	200-400
86	Apidae	<i>Bombus confusus</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	луговой	Поли		ОМ	X	X	X	X		13-16	
87	Apidae	<i>Bombus cullumanus serrisquama</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	луговой	Поли		ГП (почва)		X	X	X		11-17	
88	Apidae	<i>Bombus deuteronymus</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	луговой	Поли (<i>Fabaceae</i>)		-	X	X	X	X	X	11-15	
89	Apidae	<i>Bombus hortorum</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	эвритоп	Поли (<i>Fabaceae</i> , <i>Lamiaceae</i>)	клевер красный, рапс озимый	ГП (почва)	X	X	X	X	X	11-16	336
90	Apidae	<i>Bombus humilis</i>	Bombus	Примитивно-эусоциальные колонии	луговой	Поли (<i>Asteraceae</i> , <i>Fabaceae</i>)	клевер красный и др. бобовые (вика)	ОМ	X	X	X	X	X	10-15	475
91	Apidae	<i>Bombus lapidarius</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	луговой	Поли	подсолнечник, бобовые травы (клевера, люцерна, люпин, чина посевная)	ГП (почва)	X	X	X	X	X	12-16	450, 536

Семейство	Вид	Гильдия	Формы социальности	Биотоп	Лектические связи	Опыляемые культуры	Гнездование	V	VI	VII	VIII	IX	Размер, мм.	R, м	
92	Apidae	<i>Bombus lucorum</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	эвритоп	Поли	клевера, гречиха, рапс озимый, яблоня, чина посевная	ГП (почва)	X	X	X	X	X	19-22	400
93	Apidae	<i>Bombus pascuorum</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	эвритоп	Поли	бобовые (клевера, лядвенец, люпин), подсолнечник, плодово-ягодные	ОМ	X	X	X	X	X	9-15	450
94	Apidae	<i>Bombus pomorum</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	известняковый	Поли (<i>Fabaceae</i>)	плодовые (яблоня), бобовые	ГП (почва)	X	X	X	X	X	16-18	
95	Apidae	<i>Bombus pratorum</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	лесной	Поли	хозяйственного значения не имеет	ОМ	X	X	X	X	X	10-14	680
96	Apidae	<i>Bombus ruderarius</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	луговой	Поли (<i>Fabaceae</i> , <i>Asteraceae</i>)	клевера, донник, рапс озимый	ОМ	X	X	X	X	X	11-15	500
97	Apidae	<i>Bombus semenoviellus</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	луговой	Поли	клевер	-	X	X	X	X	X	10-15	
98	Apidae	<i>Bombus sylvarum</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	луговой	Поли (<i>Fabaceae</i> , <i>Asteraceae</i>)	рапс озимый, подсолнечник, яблоня, бобовые (клевера, люцерна, люпин), подсолнечник	ОМ	X	X	X	X	X	10-15	230
99	Apidae	<i>Bombus terrestris</i>	Bombus	примитивно-эусоциальные колонии	луговой	Поли (<i>Fabaceae</i> , <i>Asteraceae</i>)	клевер красный, белый, луговой, люцерна, подсолнечник, кабачок, огурец, плодово-ягодные	ГП (почва)	X	X	X	X	X	11-17	550-750

* В качестве размерного признака использована длина тела: для одиночных видов пчёл – самок, для эусоциальных – рабочих особей.

Таблица II. Используемые сокращения: R – средний радиус фуражировочных полетов (Разночтения в источниках отражены путём указания всех доступных значений), лектические связи (по типу питания): Поли – полилект, Олиго – олиголект (с указанием предпочитаемого семейства); лексические связи (по типу гнездования): P – роющие (с указанием предпочитаемого типа почв), ГП – готовые полости (с указанием предпочитаемого субстрата), Гр – пчёлы, самостоятельно прогрызающие трухлявую древесину, OM – открытые места.

Источники: Осычнюк и др., 1978; Березин, 1987; Ефремова, 1991; Free, 1993; Радченко, Песенко, 1994; Длусский, 1998; Packer, 1998; Svensson et al., 2000; Артохин, 2002; Gathmann, Tscharntke, 2002; Kells, Goulson, 2003; Пономарев, 2004; Ченикалова, 2005; Peterson, Roitberg, 2006; Greenleaf et al., 2007; Veil et al., 2008; Федоров и др., 2008; Красная книга Ульяновской области, 2008; Левченко, 2010; Zurbuchen, 2010; Добрынин, 2011; Connor et al., 2011; Everaars, 2012; Аннотированный каталог насекомых Дальнего Востока России, 2012; Карцев, 2013; Chen, Xu, 2013; Bailey, 2014; Gogala, 2014; Наумкин и др., 2014; Наумкин, Мазалов, 2016; Redhead et al., 2016; Аннотированный каталог перепончатокрылых насекомых России, 2017; Амолин, 2018; Красная книга Московской области, 2018; Попов, 2018; Шейко, 2019; Бободжонов, 2020; Hofmann et al., 2020; Vorański et al., 2021; Corbin et al., 2021; Красная книга Республики Татарстан, 2025.

Приложение III. Выборочные геоботанические описания залежных фитоценозов

Полевой выезд: 07.07.2021-08.07.2021

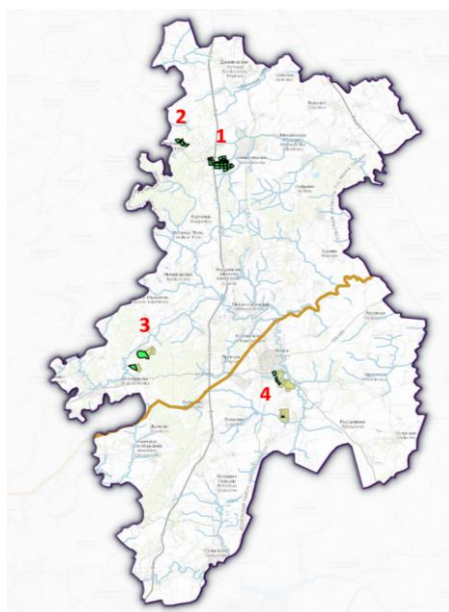


Рисунок III.1 – Расположение областей исследования на карте Венёвского района

Область исследования 1

Пробная площадка 1.1 (рис. III.2)



Рисунок III.2 – Пробная площадка 1.1

Размеры пробной площадки: 0,11 км²

Землепользование – заброшенный яблоневый сад

Тип почв – светло-серые лесные (Национальный атлас почв..., 2011)

Окружение – заброшенные пахотные угодья (с запада) и плодовые сады

Микрорельеф – прослеживаются параллельные почвенные борозды: ширина – 40 см. глубина – 15–20 см., расстояние между бороздами – 1,5 м. Местами встречаются муравейники.

Тип фитоценоза – разнотравно-вейниковая ассоциация с березовым и ивовым подростом на месте отмирающего яблоневого сада.

Описание растительного покрова пробной площадки:

Таблица III.1 – Древесный ярус

№	Порода	Проективное покрытие	Диаметр, см		Высота, м		Возраст (преобладающий), лет
			Ср.	Макс.	Ср.	Макс.	
1	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	15%	13	16	5	7,5	15
2	Ива козья (<i>Salix Caprea</i>)	4%	12	14	3	5	15
3	Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>)	Ед-но	1,8		1,3		5
4	Осина обыкновенная (<i>Populus tremula</i>)	Ед-но	15		5		15

Сокращение: Ед-но - единично

На площадке сохранились выпадающие особи яблони, а также сухостой. Проективное покрытие живых побегов – 3%

Общая сомкнутость крон – 22%

Формула состава древостоя: 8Б(б)3И+О+Р

Возобновление: обильные всходы березы, средняя плотность 2 шт./м², средняя высота 25 см.

Кустарниковый ярус: не выражен. Единично представлен шиповник собачий (*Rosa canina*)

Травяной ярус:

Общее проективное покрытие травостоя – 62%. Проективное покрытие цветущей энтомофильной растительности – 19%.

Высота травостоя: максимальная – 120 см, высота основной массы травостоя – 70 см.

Ярусность травостоя – не выражена, по периметру поля прослеживается нижний ярус, представленный преимущественно клевером ползучим и подорожником большим.

Таблица III.2 – Травяной ярус

№	Название	Проективное покрытие	Высота, см	Фенофаза
1	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i>)	30%	70	Цветение
2	Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i>)	10%	10	Цветение
3	Пижма обыкновенная (<i>Tanacetum vulgare</i>)	5%	100	Цветение
4	Короставник полевой (<i>Knautia arvensis</i>)	3%	50	Цветение

5	Пырей ползучий (<i>Agropyron repens</i>)	3%	70	Цветение
6	Золотарник обыкновенный (<i>Solidago virgaurea</i>)	3%	120	Бутонизация
7	Полевица гигантская (<i>Agrostis gigantea</i>)	2%	90	Цветение
8	Подорожник большой (<i>Plantago major</i>)	2%	15	Цветение
9	Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i>)	2%	50	Созревание семян
10	Василек луговой (<i>Centaurea jacea</i>)	1%	30	Цветение
11	Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea millefolium</i>)	1%	30	Цветение
12	Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i>)	Ед-но	30	Цветение
13	Ежа сборная (<i>Dactylis glomerata</i>)	Ед-но	80	Цветение

Мертвый покров – ветошь вейника наземного. Мощность – 2 см.

Характер задернения – плотное, сплошное

Аспект – лиловый-желтый-белый

Пробная площадка 1.2 (рис. III.3)



Рисунок III.3 – Пробная площадка 1.2

Размеры пробной площадки: 0,26 км²

Тип почв – светло-серые лесные (Национальный атлас почв..., 2011)

Землепользование. Согласно топографическим картам, данные угодья выделены под многолетние фруктовые насаждения, однако яблони не сохранились.

Окружение – заброшенные пахотные земли (с севера), заброшенные яблоневые сады (с востока и запада), сенокосные угодья дер. Полошково (с юга)

Микрорельеф – колебания почвенной поверхности в пределах 20 см.

Тип фитоценоза – березово-широколиственно-травная ассоциация

Описание растительного покрова пробной площадки:

Древесный ярус:

В первом древесном ярусе доминирует береза. Выражен второй ярус, сложенный подростом березы, липы, клена остролистного и дуба черешчатого.

Таблица III.3 – Древесный ярус

№	Порода	Проективное покрытие	Диаметр, см		Высота, м		Возраст (преобладающий), лет
			Ср.	Макс.	Ср.	Макс.	
1.	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	35%	15	18	7	10	20
2.	Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	3%	8		3		5
3.	Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i>)	4%	6		2		5
4.	Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i>)	8%	8		5		10

Общая сомкнутость крон – 50%

Формула состава древостоя: 4Б(б)3К2Л1Д

Возобновление: присутствуют всходы липы, клена, березы и дуба

Кустарниковый ярус: Лещина обыкновенная (*Corylus avellana*)

Травяной ярус

Общее проективное покрытие травостоя – 30%. Проективное покрытие цветущей энтомофильной растительности – 8%.

Высота травостоя: максимальная – 15 см, высота основной массы травостоя – 10 см.

Ярусность травостоя – не выражена

Таблица III.4 – Травяной ярус

№	Название	Проективное покрытие	Высота, см	Фенофаза
1	Мятлик узколистый (<i>Poa angustifolia</i>)	8%	10	Цветение
2	Осока волосистая (<i>Carex pilosa</i>)	7%	15	Веgetация
3	Земляника обыкновенная (<i>Fragaria vesca</i>)	4%	7	Зрелые плоды
4	Звездчатка дубравная (<i>Stellaria nemorum</i>)	3%	10	Цветение
5	Марьяник дубравный (<i>Melampyrum nemorosum</i>)	3%	12	Цветение
6	Лапчатка гусиная (<i>Argentina anserina</i>)	3%	6	Веgetация
7	Гравилат алеппский (<i>Geum aleppicum</i>)	2%	15	Цветение

Проективное покрытие мохового яруса – 5%

Мертвый покров – травяной и древесный лиственный опад. Мощность подстилки – 1,5 см.

Характер задернения – плотное, сплошное

Область исследования 2

Пробная площадка 2.1 (рис. III.4)



Рисунок III.4 – Пробная площадка 2.1

Размеры пробной площадки: 0,238 км²

Тип почв – светло-серые лесные (Национальный атлас почв..., 2011)

Землепользование – заброшенная пашня

Окружение – пахотные угодья (с юга) и широколиственный лесной массив (земли лесного фонда)

Микрорельеф – колебания почвенной поверхности в пределах 15 см., умеренное кочкование

Тип фитоценоза – лесной фитоценоз со взрослыми и молодыми деревьями мелколиственных и широколиственных пород на примыкающих к стене леса, луговой фитоценоз в области, примыкающей к дороге. Неравномерное распределение древесной растительности на пробной площадке определяет различие в составе травостоя в луговой и лесной (в тени крон) частей залежи.

Описание растительного покрова пробной площадки:

Таблица III.5 – Древесный ярус

№	Порода	Проективное покрытие	Диаметр, см		Высота, м		Возраст (преобладающий), лет
			Ср.	Макс.	Ср.	Макс.	
1	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	15%	13	16	5	7,5	15
2	Ива козья (<i>Salix Caprea</i>)	6%	11	14	3	5	15
2	Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i>)	5%	2,5		2		8
3	Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i>)	5%	3		2,5		7
4	Клён ясенелистный, (<i>Acer negundo</i>)	Ед-но	1,5		1		4

Общая сомкнутость крон – 25%. Формула состава травостоя: 5Б(б)ЗИ1К(о)1Л +К(я)

Возобновление: присутствуют всходы берез и клена остролистного, средняя плотность 1 шт./м², средняя высота 25 см.

Кустарниковый ярус: не выражен. Единично представлена черёмуха обыкновенная (*Prunus padus*)

Травяной ярус

Общее проективное покрытие травостоя – 75%. Проективное покрытие цветущей энтомофильной растительности – 36%. Высота травостоя – максимальная – 130 см, высота основной массы травостоя – 90 см. Под кронами деревьев – 20 см.

Ярусность травостоя – не выражена.

Таблица III.6 – Травяной ярус

№	Название	Проективное покрытие	Высота, см	Фенофаза
1	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigejos</i>)	30%	70	Цветение
2	Кипрей узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i>)	30%	120	Цветение
3	Клевер красный (<i>Trifolium rubens</i>)	3%	10	Цветение
4	Пырей ползучий (<i>Agropyron repens</i>)	3%	70	Цветение
5	Полевица гигантская (<i>Agrostis gigantea</i>)	2%	90	Цветение
6	Пижма обыкновенная (<i>Tanacetum vulgare</i>)	2%	100	Цветение
7	Осока волосистая (<i>Carex pilosa</i>)*	2%	15	Вегетация
8	Костёр прямой (<i>Bromus erectus</i>)*	2%	50	Цветение
9	Зверобой продырявленный (<i>Hypericum perforatum</i>)*	1%	80	Цветение
10	Сныть обыкновенная (<i>Aegopodium podagraria</i>)*	Ед-но	30	Вегетация
11	Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i>)	Ед-но	30	Цветение
12	Герань лесная (<i>Geranium sylvaticum</i>)*	Ед-но	15	Бутонизация
13	Крапива двудомная (<i>Urtica dioica</i>)*	Ед-но	30	Цветение

*Встречается преимущественно в лесной части

Мертвый покров – преимущественно ветошь вейника наземного, под кронами деревьев – лиственный опад.

Характер задернения – плотное, сплошное

Аспект – пурпурный

Область исследования 3

Пробная площадка 3.1(рис. III.5)



Рисунок III.4 – Пробная площадка 3.1

Размеры пробной площадки: 0,312 км²

Тип почв – черноземы оподзоленные (Национальный атлас почв..., 2011)

Землепользование – необрабатываемые пахотные угодья

Окружение – пахотные угодья (кормовые культуры), залежные земли, широколиственный лесной массив (земли лесного фонда), дер. Бурдуково (с севера)

Микрорельеф – колебания почвенной поверхности в пределах 10 см., умеренное кочкование.

Длина поля – 900 м., растительность описана на двух площадках 10 x 10 м.: первая примыкает к стене леса, вторая находится на расстоянии 700 м. от стены леса (у дер. Бурдуково).

Тип фитоценоза – разнотравно-злаковая ассоциация с внедрением подроста древесных пород

Описание растительного покрова пробной площадки:

Таблица III.7 – Древесный ярус

№	Порода	Проективное покрытие	Диаметр, см		Высота, м		Возраст (преобладающий), лет
			Ср.	Макс.	Ср.	Макс.	
1	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	5%	13	16	5	7,5	15
2	Ива козья (<i>Salix Caprea</i>)	3%	11	14	3	5	15
3	Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i>)*	2%	6		1,5		7
4	Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)*	2%	4		1		7
5	Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i>)*	3%	7		2,5		10
6	Ясень обыкновенный (<i>Fraxinus excelsior</i>)*	2%	3		1,5		5

* Произрастает исключительно на площадке, примыкающей к стене леса.

Общая сомкнутость крон: площадка у стены леса – 15%, площадка у дер. Бурдуково – 3%

Формула состава древостоя у стены леса: 4Б(б)2И2К1Л1Д+Я

Возобновление: обильное присутствие всходов березы и широколиственных пород.

Кустарниковый ярус: не выражен.

Травяной ярус:

Общее проективное покрытие травостоя – 60%. Проективное покрытие цветущей энтомофильной растительности – 45%.

Высота травостоя – максимальная – 140 см, высота основной массы травостоя – 90 см. Под кронами деревьев – 20 см.

Ярусность травостоя – присутствует первый нижний ярус, сложенный преимущественно одуванчиком лекарственным.

Таблица III.8 – Травяной ярус

№	Название	Проективное покрытие	Высота, см	Фенофаза
1	Клевер гибридный (<i>Trifolium hybridum</i>)	6%	50	Цветение
2	Подмаренник настоящий (<i>Galium verum</i>)	6%	60	Цветение
3	Пырей ползучий (<i>Agropyron repens</i>)	5%	70	Цветение
4	Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i>)	4%	12	Созревание семян
5	Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i>)	4%	10	Цветение
6	Донник белый (<i>Melilotus albus</i>)	4%	140	Цветение
7	Золотарник обыкновенный (<i>Solidago virgaurea</i>)	4%	90	Начало цветения
8	Зверобой обыкновенный (<i>Hypericum perforatum</i>)	3%	80	Цветение
9	Ежа сборная (<i>Dactylis glomerata</i>)	3%	100	Осыпание семян
10	Лапчатка гусиная (<i>Argentina anserina</i>)*	2%	15	Вегетация
11	Цикорий обыкновенный (<i>Cichorium intybus</i>)	2%	130	Цветение
12	Костёр прямой (<i>Bromus erectus</i>)*	2%	100	Цветение
13	Колокольчик раскидистый (<i>Campanula patula</i>)	2%	70	Цветение
14	Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i>)	1%	100	Созревание семян
15	Донник лекарственный (<i>Melilotus officinalis</i>)	1%	130	Цветение
16	Пижма обыкновенная (<i>Tanacetum vulgare</i>)	Ед-но	100	Бутонизация
17	Тимофеевка луговая (<i>Phleum pratense</i>)	Ед-но	70	Цветение
17	Девясил иволистный (<i>Inula salicina</i>)	Ед-но	30	Цветение
18	Сныть обыкновенная (<i>Aegopodium podagraria</i>)*	Ед-но	30	Вегетация

19	Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i>)	Ед-но	30	Цветение
20	Ястребинка зонтичная (<i>Hieracium umbellatum</i>)	Ед-но	90	Бутонизация
21	Купырь лесной (<i>Anthriscus sylvestris</i>)*	Ед-но	100	Цветение

*Встречается исключительно на площадке у стены леса

Мертвый покров – преимущественно ветошь вейника наземного, под кронами деревьев – лиственный опад.

Характер задернения – плотное, сплошное

Аспект – желтый-голубой

Область исследования 4

Пробная площадка 4.1(рис. III.6)



Рисунок III.5 – Пробная площадка 4.1

Размеры пробной площадки: 0,09 км²

Тип почв – темно-серые лесные (Национальный атлас почв..., 2011)

Землепользование – необрабатываемая пашня

Окружение – пахотные угодья (картофель, кормовые культуры). Полезащитная лесополоса, сложенная березой и осиной с одной стороны.

Микрорельеф – незначительные колебания почвенной поверхности в пределах 5–15 см.

Тип фитоценоза – разнотравно-бобовая ассоциация с присутствием рудеральной растительности со стороны, прилегающей к дороге.

Описание растительного покрова пробной площадки:

Древесный ярус: не выражен, присутствуют редкие всходы березы повислой

Кустарниковый ярус: отсутствует

Травяной ярус:

Общее проективное покрытие травостоя – 90%. Проективное покрытие цветущей энтомофильной растительности – 62%

Высота травостоя – 50 см.

Ярусность травостоя – не выражена

Таблица III.9 – Травяной ярус

№	Название	Проективное покрытие	Высота, см	Фенофаза
1	Клевер гибридный (<i>Trifolium hybridum</i>)	24%	50	Цветение
2	Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i>)	14%	30	Цветение
3	Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i>)	8%	15	Цветение
4	Зверобой продырявленный (<i>Hypericum perforatum</i>)	8%	80	Цветение
5	Пырей ползучий (<i>Agropyron repens</i>)	7%	50	Цветение
6	Пижма обыкновенная (<i>Tanacetum vulgare</i>)	5%	90	Бутонизация
7	Золотарник обыкновенный (<i>Solidago virgaurea</i>)	4%	90	Начало цветения
8	Донник белый (<i>Melilotus albus</i>)	4%	140	Цветение
9	Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i>)	4%	-	Цветение
10	Подмаренник белый (<i>Galium album</i>)	4%	80	Цветение
11	Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i>)	3%	50	Созревание семян
12	Горошек мышиный (<i>Vicia cracca</i>)	2%	50	Цветение
13	Лядвенец рогатый (<i>Lotus corniculatus</i>)	2%	30	Начало цветения
14	Сурепка обыкновенная (<i>Barbarea vulgaris</i>)	1%	50	Цветение
15	Костер безостый (<i>Bromus inermis</i>)	1%	70	Цветение
16	Костер прямой (<i>Bromus erectus</i>)	1%	80	Цветение
17	Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea millefolium</i>)	1%	40	Цветение
18	Ястребинка зонтичная (<i>Hieracium umbellatum</i>)	1%	90	Бутонизация
19	Звездчатка злаковая (<i>Stellaria graminea</i>)	Ед-но	20	Цветение
20	Цикорий обыкновенный (<i>Cichorium intybus</i>)	Ед-но	90	Цветение

Мертвый покров разреженный. Мощность – 0,5 см.

Характер задернения – плотное, сплошное

Аспект – розовый-желтый-голубой