

На правах рукописи



Панин Евгений Васильевич

**ПРОДУКТИВНОСТЬ И АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФАЦЕЛИИ ПИЖМОЛИСТНОЙ
(*Phacelia tanacetifolia* Benth.)
В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЛЕСОСТЕПИ
ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 1.5.20. Биологические ресурсы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Воронеж – 2025

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Научный руководитель – **Высоцкая Елена Анатольевна**, доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», декан факультета технологии и товароведения

Официальные оппоненты: **Плахова Алевтина Алексеевна**, доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», институт экологической и пищевой биотехнологии, кафедра биологии, биоресурсов и аквакультуры, профессор кафедры

Велкова Наталья Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина», институт прикладной экспериментальной ветеринарии и агробиотехнологий, кафедра агроэкологии и защиты растений, доцент кафедры

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»

Защита диссертации состоится «09» октября 2025 г. в 12:00 в ауд. 149 на заседании диссертационного совета 35.2.008.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» и на сайте www.ds.vsau.ru, с авторефератом – на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ www.vak.minobrnauki.gov.ru и ВГАУ www.ds.vsau.ru.

Автореферат разослан «04» июля 2025 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой печатью организации, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Корзов С. И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современное состояние аграрного производства предполагает практическое внедрение биологических методов повышения продуктивности экосистем, базирующихся на экологических принципах организации территории по производству сельскохозяйственной продукции. Изучая продуктивность ресурсных видов в условиях различных экосистем (к их числу относятся и агроэкосистемы), необходимо определять основные направления их развития. При этом продовольственная безопасность требует не только обеспечения населения продуктами питания, но и сохранения агроресурсов, почвенного покрова, видового биоразнообразия. Важно сохранить стабильность и высокую продуктивность базовых компонентов сельскохозяйственных экосистем, сохраняя устойчивость хрупкого экологического равновесия (Е.А. Высоцкая, 2013). Перевод аграрного производства на принципы бережливости, в основе которых лежат концепции экологического императива, является единственно возможным решением этой проблемы (Е.В. Панин, Е.А. Высоцкая, 2024).

Исследование фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia* Benth.) в качестве ресурсного вида в ЦЧР в основном связано с вопросами сидерации (Н.И. Зезюков, 1993). При этом нет широкого внедрения культуры в сельскохозяйственное производство из-за недостаточной изученности вопроса. Вместе с этим фацелия является ценной нектаропродуктивной и медопродуктивной культурой. По мнению Н.И. Велковой (2004), медопродуктивная растительность является единственным естественным кормовым ресурсом для медоносных пчел. Поскольку фацелия является хорошим медоносом, то с ее помощью можно увеличить культурную медоносную базу и повысить продуктивность пчеловодства изучаемого региона.

Степень разработанности темы. Вопросы повышения продуктивности за счет применения ресурсных видов описываются во многих трудах. Н.И. Зезюкова (1993), Н.И. Зезюкова, А.В. Дедова, Г.О. Харьковского (2000), A.R. Barzegar, A. Yousefi, A. Daryashenas (2002), Г.Г. Тарабриной (2005), В.А. Hooker, T.F. Morris, R.Peters (2005), А.В. Зеленева (2009), В.А. Семыкина, Н.И. Картамышева, В.Ф. Мальцева (2009), Г.Р. Дорожко, В.М. Пенчукова, В. М. Передериевой (2013), Т.Ф. Жаровой (2016), М.Р. Ахметзянова (2017), С.В. Лукина (2017), С.А. Ерофеева (2018), А.В. Зеленева, А.И. Беленкова (2018), А.В. Кислова, А.П. Глинушкина, А.В. Кашеева (2018), С.В. Лукина (2021), A.V. Zelenev, O.G. Chamurliev, I.V. Krivtsov (2022). В ЦЧР применение ресурсных видов культур для повышения их продуктивности широко освещено в работах Н.И. Зезюкова (1993), А.В. Дедова (1999), С.И. Коржова, В.В. Верзилина, Н.Н. Королева (2011), В.М. Передериевой, Г.Р. Дорожко, О.И. Власовой (2012), Д.А. Болучевского (2014), В.И. Турусова (2014), В.П. Савеноква (2015), А.В. Дедова, М.А. Несмеяновой, А.А. Дедова (2016), С.И. Коржова,

Т.А. Трофимовой, А.П. Солодовникова, Н.П. Молчановой (2018), В.И. Турусова, О.А. Богатых, Н.В. Дроновой, Е.А. Балюновой (2019), А.В. Дедова, Г.М. Крюкова (2024) и многих других авторов.

Соблюдение вышеотмеченных положений, грамотное управление параметрами биоресурсного потенциала базовых компонентов агроэкосистемы, обоснование способов повышения продуктивности ресурсных видов культивируемых растений, способствует не только увеличению урожайности сельскохозяйственных культур, но и экологическому балансу территории. В решении важной народнохозяйственной задачи по обеспечению собственными продуктами пчеловодства и одновременной биологизации земледелия, снижению химической нагрузки на сельскохозяйственные экосистемы за счет сидерации, применение ресурсного вида фацелии в аграрном производстве, как медоноса, так и сидеральной культуры в агроклиматических условиях Воронежской области является малоизученным направлением. Обоснование всестороннего использования в сельскохозяйственных экосистемах биологического ресурса фацелии пижмолистной способствует созданию стабильного медоносного конвейера в регионе, увеличению общей продуктивности сидерального пара, за счет получения значимого количества биомассы.

Цель исследований: проведение комплексных исследований биоресурсного потенциала и агроэкологического значения ресурсного вида фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*), как сидеральной и медоносной культуры в сельскохозяйственных экосистемах лесостепной части Воронежской области.

В соответствии с поставленной целью нами решались следующие задачи.

Задачи исследования:

1. Установить влияние климатических факторов на морфо-биологические показатели, динамику роста и развития фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*) в сельскохозяйственных экосистемах Воронежской области.

2. Определить возможность использования фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*), в качестве сидеральной культуры для улучшения показателей почвенного плодородия агроэкосистем при введении биологизированных приемов земледелия в условиях лесостепи ЦЧР.

3. Выявить продукционный потенциал нектаропродуктивности и медопродуктивности сортов ресурсного вида фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*) в условиях конкретного региона при создании медоносного конвейера.

4. Оценить возможность бисортовых посевов Наталия и Услава фацелии пижмолистной, как биологического способа повышения показателей продуктивности сидерального пара в условиях сельскохозяйственных экосистем лесостепи Воронежской области.

Научная новизна работы. Впервые изучена динамика роста и развития ресурсного вида фацелии пижмолистной (сортов Наталия и Улада) в сельскохозяйственных экосистемах Каширского района Воронежской области ИП Глава К(Ф)Х Азовцев В.А. Исследовано влияние фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*), как ресурсного вида на агроэкологическое состояние черноземов типичных среднемощных среднегумусных глинистых на покровных карбонатных суглинках в условиях Воронежской области, как представительного района лесостепи ЦЧР. Выявлены оптимальные сроки посева исследуемых сортов фацелии с целью создания медоносного конвейера, а также последующей сидерации культуры. Дана оценка комбинации различных сортов ресурсного вида фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*), как биологического способа повышения продуктивности культуры в условиях сельскохозяйственной экосистемы лесостепи Воронежской области, в том числе при получении сидеральной биомассы.

Теоретическая и практическая значимость. Введено понятие бисортовые посевы, под которым понимается совместное выращивание сортов сельскохозяйственной культуры за счет посева смеси ее семян в пределах одного агроценоза. Практическая значимость исследования заключается в доказательстве взаимного влияния различных сортов в бисортовых посевах ресурсного вида фацелии пижмолистной с целью повышения их продуктивности в условиях лесостепи Воронежской области. Полученные результаты позволяют планировать оптимальные сроки посева ресурсного вида фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*) для создания медоносного конвейера в условиях лесостепной части Воронежской области, что повышает продуктивность ее использования, при последующей запашке биомассы на глубину 10-12 см и улучшает общее агроэкологическое состояние сельскохозяйственной экосистемы, стабилизируя органическую составляющую почвенного компонента. Установлен положительный эффект совмещенного посева сортов Наталия и Улада фацелии для увеличения продуктивности сидерального пара агроценоза.

Объект и предмет исследований. Объектом исследования является биологический ресурс фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*) сортов Наталия и Улада, предметом – продукционный потенциал и агроэкологическое значение ресурсного вида культуры в агроклиматических и почвенных условиях сельскохозяйственного предприятия Каширского района Воронежской области ИП Глава К(Ф)Х Азовцев В.А., как представительного района лесостепи ЦЧР.

Методология и методы исследований. Методология теоретических исследований основана на детальном анализе новейшей отечественной и зарубежной литературы, а также изучении классических изданий и исследований. Экспериментальные методы включали полевые, лабораторные и статистические методы исследований с

использованием общепринятых и ГОСТированных методик, современного сертифицированного оборудования. Статистические методы реализовывались с помощью применения современных компьютерных программ STATISTICA 10 и Microsoft Excel.

Положения, выносимые на защиту:

1. Биологические особенности и динамика роста и развития ресурсного вида фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*) в сельскохозяйственных экосистемах лесостепной части Воронежской области показали достоверные различия между сортами в фазу цветения, которая у сорта Наталия наступала на 50 сутки, у сорта Услава на 42 сутки, что позволяет планировать медоносный конвейер.

2. Агроклиматические показатели Воронежской области, вне зависимости от значений показателя ГТК в период массового цветения фацелии пижмолистной, позволяют реализовать биологический ресурс культуры с учетом сортовых особенностей, получая стабильно высокие показатели нектаропродуктивности в среднем 667,4 кг/га и медопродуктивности – 403,9 кг/га.

3. Совмещение сортов фацелии пижмолистной Услава и Наталия за счет увеличенного количества биомассы сидерального пара дает наибольший агрономический эффект. Продуктивность бисортовых посевов в среднем на 69 ц/га выше, чем продуктивность каждого сорта по отдельности.

4. Использование ресурсного вида фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*) как биологического способа повышения продуктивности сельскохозяйственных экосистем способствует трансформации почвенного компонента, в результате повышения показателя содержания запасов доступной влаги в слоях почвы 0-30 см и 0-100 см соответственно до 60 мм и до 157 мм. Отмечается стабилизация органической составляющей и в содержании элементов минерального питания в почвенном компоненте.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность полученных экспериментальных данных определяется большим объемом проведенных исследований; подбором современных методик полевых и лабораторных анализов; ГОСТированными методами сбора, обработки и диагностики информации; статистической обработкой полученных данных, а также ее апробацией в условиях ИП Глава К(Ф)Х Азовцев В.А. Каширского района Воронежской области. Результаты исследования и основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-практических конференциях различного уровня: на международной научно-практической конференции, посвященной 136-летию со дня рождения академика Н.И. Вавилова (г. Саратов, 2023), на IV национальной научно-практической конференции, посвященной 45-летию ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ (г. Белгород, 2023), на V национальной научно-практической конференции «Достижения и перспективы в сфере

производства и переработки сельскохозяйственной продукции», посвященной 75-летию Г.С. Походни (г. Белгород, 2024), всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Научное обеспечение интенсификации сельскохозяйственного производства в современных условиях» (г. Белгород, 2024), IV международной научно-практической конференции «Роль аграрной науки в устойчивом развитии АПК», посвященной 73-летию Курского ГАУ (г. Курск, 2024), XVIII международной научно-практической конференции «Приоритеты научно-технического развития АПК в современных условиях» (г. Казань, 2024), международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы аграрной науки: теория и практика», посвященной юбилею – 80-летию агрономического факультета (г. Киров, 2024), а также на ежегодных научно-практических конференциях регионального и международного уровня Воронежского ГАУ и ряде других научных мероприятий.

Публикация результатов исследований. По материалам исследований опубликовано 14 работ, в том числе 4 - в изданиях, рекомендованных ВАК, 10 статей и тезисов докладов, включенных в систему цитирования РИНЦ.

Личный вклад автора: Автор принимал активное участие в составлении программы исследования. Самостоятельно подобрал литературные источники и проводил теоретическое изучение проблемы. Проводил закладку полевых опытов, сбор полевого материала, лабораторные исследования, проанализировал и обобщил полученные экспериментальные данные. Математически обработал цифровой материал. Принимал активное участие в опубликовании и апробации полученных результатов. Личный вклад автора составил более 85%.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, предложений производству и списка литературы. Список литературы включает 220 источников, из них 15 – на иностранном языке. Диссертация изложена на 198 страницах компьютерного текста. Содержит 20 таблиц, 47 рисунков и 19 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОЦЕНОЗОВ

В главе приводится подробный анализ ресурсных видов культур и их роли в повышении продуктивности агроценозов. Рассматривается влияние различного набора сидератов на экологическое состояние почвенного покрова. Приводится характеристика медопродуктивности, как показателя, характеризующего ресурсный потенциал культурных растений. Описывается фацелия пижмолистная (*Phacelia tanacetifolia*), как ресурсный вид, используемый в аграрном производстве.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в Каширском районе (ИП Глава К(Ф)Х Азовцев В.А.), расположенном в центрально-северо-западной части Воронежской области в период с 2020 по 2023 годы. Климат Каширского района умеренно-континентальный. Средняя температура воздуха за исследуемый период составила $+8,5^{\circ}\text{C}$ при норме $+5,6^{\circ}\text{C}$. Положительная тенденция в развитии растений отмечается при сочетании оптимального температурного режима и количества осадков. Исследования показали, что более влажным был 2021 год, в течение которого выпало 634 мм осадков. В 2022 году отмечается снижение их общего количества до 553 мм, а 2023 год характеризуется минимальным показателем количества увлажнения, который составил 548 мм, что ниже нормы в 550 мм. Величина гидротермического коэффициента (ГТК) меняется от 0,06 до 2,2, что подтверждает нестабильность водно-температурного режима исследуемой территории. Изучаемая территория расположена на Окско-Донской низменности, в пределах Воронежской антеклизы. Пространство в пределах хозяйства характеризуется выровненным рельефом. Покровные карбонатные суглинки территории послужили основой для формирования черноземов типичных легкоглинистых и тяжелосуглинистых, наиболее распространенных в ИП Глава К(Ф)Х Азовцев В.А.

Для изучения ресурсного вида фацелии в качестве сидерата, а также исследования ее нектаропродуктивности, медопродуктивности, продуктивности биомассы, как основных показателей биологического ресурса изучаемой сельскохозяйственной культуры, в условиях сельскохозяйственных экосистем ИП Глава К(Ф)Х Азовцев В.А. Каширского района Воронежской области нами были заложены два короткоротационных севооборота. Первый – сидеральный, его схема: сидеральный пар с фацелией (*Phacelia tanacetifolia*) – яровая пшеница (*Triticum* L.) – кукуруза (*Zea mays* L.) – ячмень (*Hordeum vulgare* L.). Второй – зернопаропропашной (контроль) севооборот без фацелии, с аналогичным чередованием культур. Размещение делянок систематическое. Опыт граничит с лесополосами. Для определения влияния сидеральной культуры на агроэкологическое состояние исследуемого чернозема, до закладки полевого опыта в 2019 году был проведен их агрохимический анализ в лабораториях ФГБУГЦ агрохимической службы «Воронежский» по общепринятым ГОСТированным методикам.

В качестве сидеральной культуры использовался ресурсный вид фацелии пижмолистной (сорта Услава и Наталия). Физиологической особенностью фацелии является способность подавлять развитие сорной растительности. Культура не повреждается вредителями и болезнями, поэтому в севообороте не применялись гербициды и инсектициды. Технология возделывания культур в севооборотах – общепринятая для лесостепи ЦЧР РФ, кроме изучаемых факторов. Удобрения при возделывании фацелии в сидеральном пару не вносились. Оценку

нектаропродуктивности и медопродуктивности проводили в полевых условиях в период наиболее активного цветения – на 50-е сутки у сорта Наталия и на 42-е сутки у сорта Услава, с 9:00 до 17:00 осуществляли отбор соцветий каждые 2 часа. Для определения нектаропродуктивности использовался метод смыва с последующим определением общего содержания сахаров с помощью рефрактометра ИРФ-454 в лабораториях ФГБОУ ВО ВГАУ имени императора Петра I.

В период с 2020 по 2023 годы исследовали стадии роста и развития фацелии, ее морфо-биологические признаки, показатели урожайности зеленой массы, нектаропродуктивности, медопродуктивности. Общая площадь опытного участка составляет 5 га, учетная 4,8 га. На этой площади изучались свойства фацелии как сидеральной, медоносной культуры в сидеральном звене севооборота, и ее биоэнергетический потенциал.

С целью увеличения ресурсного потенциала сельскохозяйственной экосистемы и создания оптимального медоносного конвейера, рекомендуются бисортные посевы медоносных культур. На основании этого на опытных участках по изучению нектаропродуктивности и медопродуктивности фацелии пижмолистной разработаны и апробированы три варианта: А1 – сорт Наталия, А2 – сорт Услава, А1+ А2 – бисортные посевы – Наталия и Услава. Изоляция между сортами осуществлялась выкашиванием на ширину 1,5 м. Сорта включены в государственный реестр селекционных достижений и допущены к внедрению по всей территории РФ. В период вегетации и после заделки сидерата рассчитывался биоэнергетический потенциал территории, который сравнивался с аналогичными показателями контрольного участка.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3. ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ФАЦЕЛИИ ПИЖМОЛИСТНОЙ (*Phacelia tanacetifolia*)

Продолжительность вегетационного периода исследуемых сортов.

Вегетационный период развития фацелии складывается из следующих фаз: «посев-всходы», «всходы-бутонизация», «всходы-цветение», «всходы-созревание». Заделку фацелии в качестве сидерата рекомендуют в период начала созревания, поэтому нами исследовался именно этот период. Наиболее короткие межфазные периоды характерны для сорта Услава. Сорт Наталия имел более поздние всходы. Динамика вегетационных фаз по годам зависела от количества выпавших осадков, температуры и ГТК. Количество осадков в 2021 году составило 634 мм, поэтому ГТК вырос до комфортного значения в 1,33 единицы, что отразилось на ранних всходах, периодах бутонизации, цветении и начале созревания обоих сортов (рисунок 1).

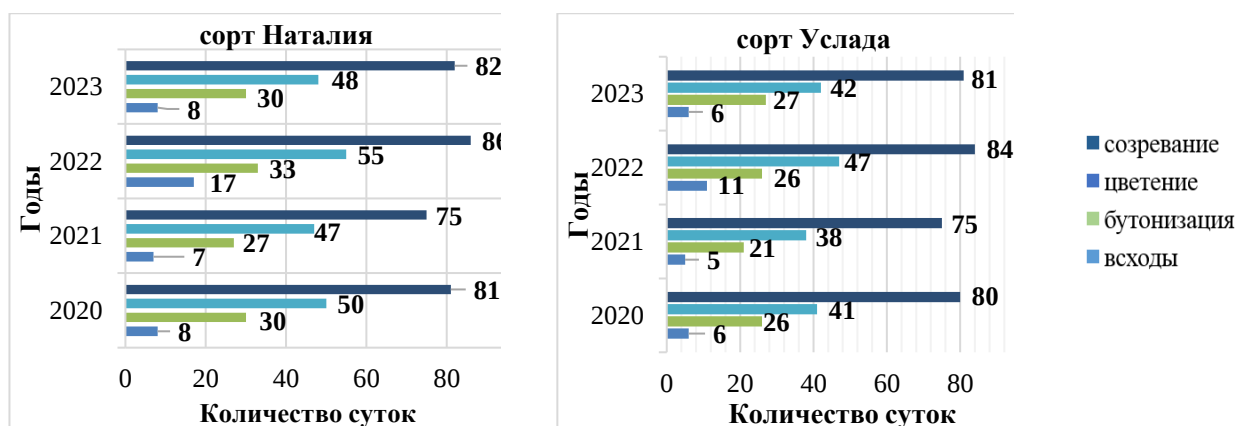


Рисунок 1 – Сортные различия в основных фазах роста фацелии

Морфо-биологические показатели фацелии. Изучались следующие морфо-биологические показатели: высота растения, диаметр куста, диаметр стебля, длина соцветий, поскольку они утверждены Международным союзом по охране новых сортов растений (УПОВ) в качестве методики проведения испытаний на отличие, либо совместимость сортов. По мнению Н.И. Велковой (2004), Е.В. Думачевой с соавт. (2017), А.Б. Дьякова, В.В. Гронина (2006), А.А. Жученко (2001) показатели являются важным критерием по выявлению степени выраженности признаков у различных сортов. На морфо-биологические показатели фацелии, при однородных почвенно-экологических показателях и условиях агротехники, влияет выращиваемый сорт (таблица 1).

Таблица 1 – Морфо-биологические признаки фацелии сортов Наталия и Услава за период с 2020 по 2023 годы

Определяемый показатель, см	Статистические показатели	Сорт		НСР ₀₅
		Наталия	Услава	
Высота растений	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	77,1±10,0	68,3±2,5	1,5
	min-max	64,3-89,8	54,3-75,1	
Диаметр куста	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	43,4±4,1	40,0±2,7	1,3
	min-max	33,4-51,1	35,4-42,7	
Диаметр стебля	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	1,0±0,3	2,0±0,4	0,4
	min-max	0,7-1,3	1,5-2,4	
Длина соцветий	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	18,2±2,9	10,1±1,3	0,7
	min-max	14,8-25,3	9,2-12,1	

Полученные средние значения морфо-биологических показателей (высота растений, диаметр куста, длина соцветий) для сорта Наталия достоверно отличается от сорта Услава. При этом для сорта Услава характерны более мощные стебли, которые составляют основную часть зеленой массы растения.

Анализируя годовую динамику исследуемых морфо-биологических показателей, следует отметить, что максимальных величин признаки достигали в 2021 году (рисунок 2)

у обоих сортов, в этот период были благоприятные гидротермические условия. Минимальные значения показателя были в более засушливом 2022 году.

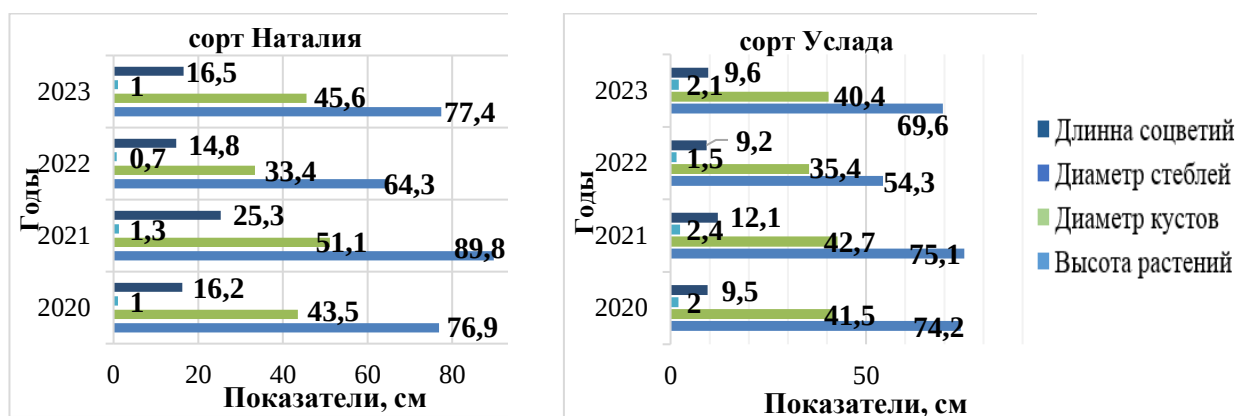


Рисунок 2 – Динамика морфо-биологических показателей в период исследования

Получена тесная корреляционная зависимость между интенсивностью развития исследуемых морфо-биологических показателей и величиной ГТК (таблица 2).

Особенности цветения. Изучаемые сорта достоверно различаются в межфазном периоде «всходы-цветение», $НСР_{05}=1,03$. Цветение сорта Услава началось в среднем на 42 день после всходов, у сорта Наталия на 50 день. Самые первые цветки у сорта Услава были на 38 сутки, у сорта Наталия – 47 сутки развития культуры. Продолжительность жизни одного цветка составляла 2-3 дня. Выявить закономерности продолжительности жизни одного цветка от сорта фацелии не удалось. Массовое цветение отмечалось у сортов Услава и Наталия на 55 и 47 дни соответственно. Полученные данные позволяют планировать начало и окончание массового цветения, тем самым создать медоносный конвейер.

Таблица 2 – Значения коэффициентов корреляции между морфо-биологическими показателями фацелии, ГТК, осадками и t в вариантах опыта

Показатели	Высота растений		Диаметр куста		Диаметр стебля		Длина соцветий	
ГТК	0,88±0,05	0,76±0,01	0,78±0,02	0,77±0,01	0,89±0,03	0,75±0,01	0,96±0,03	0,95±0,03
Осадки	0,76±0,01	0,75±0,01	0,75±0,01	0,76±0,01	0,76±0,01	0,75±0,01	0,93±0,04	0,93±0,04
t	0,25±0,07	0,32±0,06	0,34±0,07	0,29±0,05	0,27±0,06	0,29±0,04	0,15±0,05	0,23±0,06
	Наталия	Услава	Наталия	Услава	Наталия	Услава	Наталия	Услава

Примечание: Sg - ошибки коэффициента корреляции

- тесная корреляционная зависимость
- корреляционная зависимость средней силы
- низкая корреляционная зависимость.

Динамика веса наземной и подземной биомассы фацелии по фазам вегетации.

Фаза бутонизации. Нами установлено (таблица 3), биомасса сорта Наталия в период бутонизации составила 163 ц/га, сорта Услава – 160 ц/га. Различия в урожайности между сортами в данный период развития фацелии находились в пределах ошибки. Достоверное различие отмечали в бисортных посевах. В фазу бутонизации фацелии, ее корневая система в среднем достигла 12 ц/га у сорта Наталия ($НСР_{05}=0,7$), 14 ц/га у сорта

Услава (НСР₀₅=0,5) и 15 ц/га в бисортовых посевах, НСР₀₅=0,3. В фазу бутонизации сортовые различия еще не выражены, находятся на уровне стандартного отклонения и ошибки среднего арифметического.

Таблица 3 – Урожайность в ц/га зеленой массы (числитель), подземной фитомассы (знаменатель) фацелии исследуемых сортов в фазу бутонизации, n = 3

Сорт	Урожайность, $\bar{x} \pm s_x$	max	min	НСР ₀₅
Наталия	$\frac{163 \pm 11,2}{12 \pm 0,5}$	$\frac{186}{15}$	$\frac{147}{10}$	$\frac{6,9}{0,7}$
Услава	$\frac{160 \pm 9,8}{14 \pm 0,7}$	$\frac{190}{16}$	$\frac{151}{12}$	$\frac{8,3}{0,5}$
(Наталия + Услава)	$\frac{184 \pm 12,1}{15 \pm 0,7}$	$\frac{194}{17}$	$\frac{181}{13}$	$\frac{10,0}{0,3}$

Фаза цветения. Урожайность зеленой биомассы в фазу цветения была у сорта Наталия – 180 ц/га, сорта Услава – 179 ц/га и максимальная – 248 ц/га в бисортовых посевах. В фазу цветения корневая система фацелии в среднем достигла 17 ц/га у сорта Наталия (НСР₀₅=0,7), 18 ц/га у сорта Услава (НСР₀₅=0,8) и 20 ц/га в бисортовых посевах, НСР₀₅=0,8 (таблица 4).

Таблица 4 – Урожайность в ц/га зеленой массы (числитель), подземной фитомассы (знаменатель) фацелии исследуемых сортов в фазу цветения, n = 3

Сорт	Урожайность, $\bar{x} \pm s_x$	max	min	НСР ₀₅
Наталия	$\frac{180 \pm 10,1}{17 \pm 0,4}$	$\frac{202}{20}$	$\frac{161}{15}$	$\frac{5,7}{0,7}$
Услава	$\frac{179 \pm 10,6}{18 \pm 0,6}$	$\frac{191}{21}$	$\frac{155}{16}$	$\frac{6,3}{0,8}$
(Наталия + Услава)	$\frac{248 \pm 11,5}{20 \pm 0,7}$	$\frac{265}{22}$	$\frac{215}{17}$	$\frac{8,9}{0,8}$

Фаза начала созревания семян. Исследования показали (таблица 5), сорт Услава давал большую урожайность зеленой массы – 287 ц/га (НСР₀₅ = 9,1), урожайность сорта Наталия была 195 ц/га (НСР₀₅ = 7,8). При этом необходимо отметить, что сорт Услава развивал более толстые стебли с хорошей разветвленностью, они и составляли основной объем зеленой массы. Максимальная урожайность зеленой массы (310 ц/га) отмечалась в бисортовых посевах (НСР₀₅=9,4). Совместное возделывание сортов сопровождается бисотовыми взаимодействиями между растениями, приводя к росту показателей урожайности зеленой массы. Перед запашкой фацелии, ее корневая система в среднем достигала 23 ц/га у сорта Наталия (НСР₀₅=0,6), 24 ц/га – у сорта Услава (НСР₀₅=0,5) и 25 ц/га – в бисортовых посевах, НСР₀₅=0,4 (таблица 5).

Таблица 5 – Урожайность в ц/га зеленой массы (числитель), подземной фитомассы (знаменатель) фацелии исследуемых сортов в фазу начала созревания семян, n = 3

Сорт	Урожайность, $\bar{x} \pm s_x$	max	min	HCP ₀₅
Наталия	$\frac{195 \pm 10,1}{23 \pm 0,4}$	$\frac{219}{25}$	$\frac{181}{21}$	$\frac{7,8}{0,6}$
Услава	$\frac{287 \pm 10,6}{24 \pm 0,5}$	$\frac{297}{26}$	$\frac{265}{22}$	$\frac{9,1}{0,5}$
(Наталия + Услава)	$\frac{310 \pm 11,5}{25 \pm 0,5}$	$\frac{330}{27}$	$\frac{299}{23}$	$\frac{9,4}{0,4}$

В период бутонизации отмечали тесную корреляционную связь между урожайностью наземной и подземной фитомассы с ГТК и осадками. Во время цветения и начала созревания отмечались корреляционные зависимости с климатическими показателями разной степени. Низкие значения коэффициента корреляции получены между среднегодовым значение температур и урожайностью зеленой массы фацелии исследуемых сортов во все исследуемые периоды (таблица 6). Согласно корреляционному анализу, развитие подземной биомассы определяется ГТК и количеством осадков для всех изучаемых сортов и при их комбинации. Между температурным показателем и подземной биомассой получена слабая корреляционная зависимость во всех вариантах опыта (таблица 6).

Таблица 6 – Значения коэффициента корреляции между урожайностью наземной и подземной фитомассы в разные периоды вегетации, ГТК, осадками и t в вариантах опыта

Показатели	Бутонизация			Цветение			Начало созревания		
	Наземная фитомасса								
ГТК	0,85±0,03	0,99±0,01	0,88±0,05	0,68±0,04	0,51±0,05	0,54±0,04	0,97±0,02	0,48±0,03	0,99±0,01
Осадки	0,75±0,01	0,96±0,02	0,75±0,01	0,49±0,02	0,30±0,02	0,32±0,02	0,89±0,05	0,28±0,02	0,96±0,02
t	0,15±0,04	0,11±0,02	0,18±0,01	0,11±0,02	0,19±0,01	0,20±0,02	0,28±0,02	0,28±0,02	0,19±0,02
	Подземная фитомасса								
ГТК	0,99±0,01	0,94±0,04	0,94±0,03	0,94±0,05	0,99±0,01	0,78±0,03	0,94±0,04	0,95±0,02	0,94±0,04
Осадки	0,97±0,02	0,84±0,03	0,84±0,05	0,88±0,03	0,97±0,02	0,81±0,04	0,83±0,03	0,83±0,03	0,84±0,02
t	0,10±0,01	0,13±0,01	0,13±0,01	0,20±0,01	0,14±0,01	0,14±0,02	0,13±0,02	0,13±0,02	0,14±0,01
	Наталия	Услава	Наталия+ Услава	Наталия	Услава	Наталия+ Услава	Наталия	Услава	Наталия+ Услава

Примечание: обозначения те же, что и в таблице 2.

При исследовании продуктивности наземной и подземной биомассы по годам, получены данные о максимальных значениях урожайности в 2021 году – 219 ц/га сорт Наталия, 297 ц/га – сорт Услава, 330 ц/га – при комбинации сортов. Урожайность подземной биомассы – 25 ц/га сорт Наталия, 26 ц/га – сорт Услава и 27 ц/га в бисортовых посевах. Год характеризовался оптимальным значением ГТК и количеством осадков. Минимальные показатели характерны для более засушливого 2022 года.

Нектаропродуктивность и медопродуктивность. Согласно полученным данным (таблица 7) сорт Наталия обладает достоверно большей нектаропродуктивностью и медопродуктивностью. Средние показатели составляют 720,1 и 411,6 кг/га соответственно. При выращивании сорта Услава были соблюдены аналогичные сроки и способы посева. За счет сортовых особенностей значения нектаропродуктивности составили 614,6 кг/га, медопродуктивности – 396,2 кг/га. Наибольшие показатели нектаропродуктивности – 800,9 кг/га получены в бисортовых посевах ($НСР_{05}=9,8$), что связано с бисортовым взаимодействием сортов.

Таблица 7 – Нектаропродуктивность (числитель) и медопродуктивность (знаменатель) фацелии пижмолистной сортов Наталия, Услава и их сочетания (кг/га), $n = 10$

Сорт	Нектаропродуктивность / медопродуктивность, $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	max	min	$НСР_{05}$
Наталия	$\frac{720,1 \pm 11,4}{411,6 \pm 5,3}$	$\frac{736,9}{437,7}$	$\frac{706,2}{400,1}$	$\frac{9,2}{4,7}$
Услава	$\frac{614,6 \pm 6,6}{396,2 \pm 4,8}$	$\frac{631,2}{405,8}$	$\frac{601,5}{376,2}$	$\frac{5,9}{4,1}$
(Наталия + Услава)	$\frac{800,9 \pm 10,5}{421,7 \pm 7,4}$	$\frac{825,8}{437,8}$	$\frac{787,4}{415,1}$	$\frac{9,8}{6,3}$

Полученные коэффициенты корреляции между климатическими показателями и значением нектаропродуктивности и медопродуктивности свидетельствуют о средней и тесной зависимости между ними. Между среднегодовым значением температур и исследуемыми параметрами корреляционная зависимость низкая (таблица 8).

Таблица 8 – Значения коэффициентов корреляции между нектаропродуктивностью, медопродуктивностью, ГТК, осадками и t в вариантах опыта

Показатели	Нектаропродуктивность		Медопродуктивность	
ГТК	$0,94 \pm 0,05$	$0,96 \pm 0,03$	$0,99 \pm 0,01$	$0,86 \pm 0,05$
Осадки	$0,79 \pm 0,02$	$0,81 \pm 0,04$	$0,88 \pm 0,03$	$0,75 \pm 0,01$
t	$0,31 \pm 0,01$	$0,41 \pm 0,03$	$0,21 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,01$
	Наталия	Услава	Наталия	Услава

Примечание: обозначения те же, что и в таблице 2.

Высота растения, диаметр куста, длина соцветий у сорта Наталия достоверно выше аналогичных морфо-биологических показателей сорта Услава. Диаметр стебля шире у сорта Услава, что повлияло на показатели урожайности зеленой массы, которая достоверно превышает сорт Наталия. В бисортовых посевах достигаются максимальные показатели урожайности зеленой массы. Кроме того, при сочетании двух сортов происходит увеличение периода цветения, что позволяет проектировать медоносный конвейер, увеличивая показатели нектаропродуктивности и медопродуктивности, тем самым повышая биологическую продуктивность агроэкосистемы в целом.

4. АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФАЦЕЛИИ ПИЖМОЛИСТНОЙ (*Phacelia tanacetifolia*) В СЕВООБОРОТАХ

Динамика запасов доступной влаги при выращивании фацелии. Накопление доступной влаги отмечалось уже в период бутонизации фацелии и достигало $54 \pm 1,3$ мм (таблица 9). По сравнению с контрольным вариантом отмечалось достоверное увеличение доступной влаги как в верхнем 0-30 см слое, так и во всей метровой толще.

Таблица 9 – Влияние фацелии на запасы доступной влаги в черноземе типичном

Срок отбора образцов	Среднее значение за период с 2020 по 2023 годы, $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ в мм			
	Вариант опыта с фацелией		Контрольный вариант (без фацелии)	
	0-30 см	0-100 см	0-30 см	0-100 см
Перед посевом	$35 \pm 1,7$	$117 \pm 9,2$	$32 \pm 1,5$	$120 \pm 7,2$
Бутонизация	$54 \pm 1,3$	$148 \pm 8,6$	$27 \pm 1,7$	$114 \pm 9,1$
После заделки	$60 \pm 1,1$	$157 \pm 9,4$	$27 \pm 1,8$	$108 \pm 8,3$
НСР ₀₅	3,0	9,1	3,4	6,8

Помимо биологических особенностей фацелии, данное явление объясняется тем, что сидеральная культура препятствует физическому испарению влаги с открытого пространства пашни. Отмечается увеличение запасов доступной влаги до $60 \pm 1,1$ мм в 0-30 см слое почвы после заделки фацелии (таблица 10), тем самым доказывается, что сидеральная культура достоверно увеличивает запасы доступной влаги за счет своих биологических особенностей.

Влияние возделывания сидеральной культуры на почвенную кислотность и содержание гумуса в черноземе типичном. Согласно полученным данным (таблица 10), для исследуемых черноземов типичных характерна слабокислая и нейтральная реакция среды, рН_{KCl} 5,3-6,3 единицы.

Таблица 10 – Влияние фацелии на рН_{KCl} и содержания гумуса (%) в черноземе типичном

Срок отбора образцов	Среднее значение за период с 2020 по 2023 годы, $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$			
	Вариант опыта с фацелией		Контрольный вариант (без фацелии)	
	рН _{KCl}	гумус, %	рН _{KCl}	гумус, %
Перед посевом	$5,3 \pm 0,3$	$7,0 \pm 0,2$	$5,4 \pm 0,2$	$7,0 \pm 0,3$
Бутонизация	$5,7 \pm 0,2$	$7,8 \pm 0,2$	$5,3 \pm 0,4$	$6,5 \pm 0,3$
После заделки	$6,3 \pm 0,1$	$7,9 \pm 0,2$	$5,3 \pm 0,3$	$6,3 \pm 0,2$
НСР ₀₅	0,12	0,10	0,12	0,10

Возделывание фацелии влияет на рН_{KCl} почвенного покрова. Достоверное различие было выявлено в динамике рН_{KCl} между контрольным вариантом и вариантом опыта с фацелией. Нормализация кислотности отмечается как в фазу бутонизации, так и после заделки культуры. Среднее содержание гумуса составляет $6,7 \pm 0,2\%$, что характеризует исследуемые черноземы типичные как среднегумусные. В результате

сельскохозяйственного использования, отмечается минерализация органического вещества, что со временем приводит к сокращению процентного содержания гумуса.

В контрольном варианте, без сидеральной культуры, отмечается постепенное снижение содержания гумуса с 7,2% в 2020 году, до 6,4% в 2023 (рисунок 3).

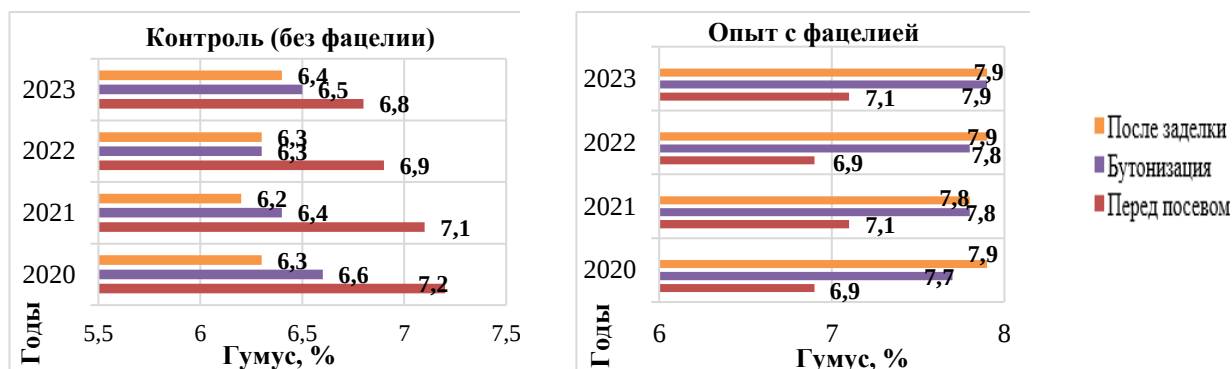


Рисунок 3 – Годовое изменение процентного содержания гумуса в слое 0-30 см чернозема типичного в вариантах опыта

Анализируя годовую динамику накопления гумуса, следует отметить, что наибольшее процентное содержание гумуса отмечалось в 2023 году (рисунок 3). Это связано с тем, что для образования гумуса необходимо не только поступление органического вещества извне, но и консервация его в почвенном компоненте за счет более засушливых условий, которые были созданы в период с 2022 по 2023 год. В этот период количество осадков сократилось с 553 до 548 мм, а среднегодовая температура выросла с 8 до 8,4°C.

Влияние заделки фацелии на содержание элементов минерального питания (N, P, K) в черноземе типичном. Возделывание фацелии приводит к обогащению верхних слоев чернозема типичного аммонийным азотом, отмечается увеличение содержания подвижного фосфора и калия (таблица 11).

Таблица 11 – Средние показатели сезонного изменения содержания азота, фосфора и калия (мг/кг) в черноземах типичных за период с 2020 по 2023 годы

Срок отбора образцов	Среднее значение за исследуемый период $\bar{x} \pm s_x$					
	Вариант опыта с фацелией			Контрольный вариант (без фацелии)		
	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
Перед посевом	80,5±3,3	126±7,1	140±2,9	80,0±2,2	126±4,1	139±4,4
Бутонизация	91,0±2,9	156±6,9	156±3,6	76,5±1,9	121±4,5	138±3,9
После заделки	98,0±4,1	167±5,8	169±3,8	76,0±2,1	116±3,6	134±2,8

Фацелия способствует дополнительному накоплению запасов доступной влаги в пахотном слое чернозема типичного и в его метровой толще. В результате заделки фацелии на глубину 10-12 см отмечается оптимизация значений pH в исследуемом опыте. Выявлена стабилизация гумусного состояния черноземов типичных и содержания в них элементов минерального питания. Улучшение состояния почвенного

компонента за счет применения фацелии пижмолистной в качестве сидерата будет способствовать повышению общего агроэкологического состояния сельскохозяйственной экосистемы.

5. БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ФАЦЕЛИИ ПИЖМОЛИСТНОЙ (*Phacelia tanacetifolia*) В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ КАШИРСКОГО РАЙОНА ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Экологическая емкость агроландшафта характеризует устойчивость его функционирования. Биоэнергетический потенциал территории (БЭПТ), характеризует ту часть энергии, которая заключена в фитомассе и органическом веществе почвы. Анализ данных показал (таблица 12), что максимальная энергия наземной и подземной биомассы изучаемых сортов, как по отдельности, так и при их сочетании, отмечается в конце вегетации 2021 года, который характеризовался оптимальными условиями увлажнения (634 мм) и температурными показателями (среднегодовая температура составила 8,2°C). Минимальная энергия наземной биомассы сортов Наталия и Услава, а также при их комбинации зафиксирована в 2023 году. Год характеризовался недостаточным количеством увлажнения (548 мм), что послужило лимитирующим фактором для роста и развития наземной и подземной биомассы растения.

Таблица 12 – Изменение энергосодержания надземной и подземной фитомассы фацелии сортов Наталия, Услава и в бисортовых посевах за исследуемый период, ГДж/га

Энергосодержание, ГДж/га	Годы исследования				НСР ₀₅
	2020	2021	2022	2023	
сорт Наталия					
Наземной фитомассы	114,1	117,6	115,3	105,4	2,03
Подземной фитомассы	34,1	36,9	30,7	30,5	1,01
сорт Услава					
Наземной фитомассы	126,3	130,2	125,4	123,8	1,79
Подземной фитомассы	42,1	46,7	45,3	40,0	1,17
Наталия+Услава					
Наземной фитомассы	154,2	177,3	156,4	151,9	3,71
Подземной фитомассы	48,4	52,1	49,0	47,0	1,05

Рассчитанные коэффициенты корреляции между энергосодержанием подземной фитомассы ГТК и количеством осадков, свидетельствуют о тесной корреляционной зависимости (таблица 13). Между температурой и исследуемым показателем выявлена слабая корреляционная зависимость.

Для определения биоэнергетического потенциала территории были рассчитаны значения энергосодержания органического вещества и энергии элементов минерального питания. Годовая динамика этих показателей приведена в таблице 14.

Таблица 13 – Значения коэффициентов корреляции между энергосодержанием наземной и подземной фитомассой, ГТК, осадками и t в вариантах опыта

Показатели	Энергосодержание наземной фитомассы			Энергосодержание подземной фитомассы		
	ГТК	Осадки	t	ГТК	Осадки	t
ГТК	0,75±0,02	0,83±0,04	0,83±0,05	0,93±0,04	0,75±0,01	0,83±0,04
Осадки	0,44±0,02	0,96±0,02	0,93±0,05	0,95±0,04	0,76±0,01	0,93±0,05
t	0,26±0,01	0,28±0,02	0,27±0,02	0,21±0,01	0,49±0,01	0,32±0,02
	Наталия	Услава	Наталия + Услава	Наталия	Услава	Наталия + Услава

Примечание: обозначения те же, что и в таблице 2.

Достоверно большие значения энергосодержания органического вещества и элементов минерального питания на исследуемом черноземе типичном получены при сочетании сортов Наталия и Услава за счет бисортного взаимодействия. Результаты корреляционного анализа между энергосодержанием органического вещества исследуемых черноземов типичных и климатическими показателями показывают корреляционную зависимость разной силы.

Таблица 14 – Динамика энергосодержания органического вещества и элементов минерального питания исследуемого чернозема типичного за период исследования

Энергосодержание, ГДж/га	Годы исследования				НСР ₀₅
	2020	2021	2022	2023	
сорт Наталия					
Органического вещества	5258,33	5915,92	4971,68	5857,52	59,2
Элементов питания	37,81	40,48	35,62	39,48	1,01
сорт Услава					
Органического вещества	5341,30	5974,72	5017,48	5887,62	51,2
Элементов питания	36,19	41,11	33,17	36,18	2,02
Наталия+Услава					
Органического вещества	7891,04	8488,15	7011,17	7187,69	61,1
Элементов питания	44,7	50,8	43,9	46,9	2,02

Установлено, что среднегодовая температура слабо влияет на трансформацию органического вещества, выявлена слабая корреляционная зависимость во всех исследуемых вариантах. Элементы минерального питания – это легкодоступные формы для растительных организмов, поэтому этот показатель образует более тесную корреляционную зависимость с климатическими факторами, такими как осадки и ГТК (таблица 15).

БЭПТ определяется суммой энергосодержания наземной фитомассы и количеством энергосодержания органического вещества почв. Полученные данные (таблица 16) свидетельствуют о том, что исследуемый показатель достигал максимальных значений в 2021 году.

Таблица 15 – Значения коэффициента корреляции между энергосодержанием (органического вещества / элементов минерального питания), ГТК, осадками и t в вариантах опыта

Показатели	Энергосодержание органического вещества			Энергосодержание элементов минерального питания		
ГТК	0,67±0,02	0,70±0,03	0,95±0,04	0,79±0,03	0,98±0,01	0,91±0,02
Осадки	0,50±0,01	0,53±0,02	0,93±0,05	0,75±0,01	0,91±0,05	0,84±0,04
t	0,35±0,02	0,35±0,02	0,36±0,02	0,23±0,02	0,21±0,01	0,29±0,02
	Наталия	Услава	Наталия + Услава	Наталия	Услава	Наталия + Услава

Примечание: обозначения те же, что и в таблице 2.

Таблица 16 – Изменение БЭПТ за 2020-2023 годы, ГДж/га

БЭПТ	Годы исследования				НСР ₀₅
	2020	2021	2022	2023	
сорт Наталия					
ГДж/га	4375,73	5150,22	4052,69	4206,83	37,1
сорт Услава					
ГДж/га	5112,19	5884,23	5023,17	5131,12	28,9
Наталия+Услава					
ГДж/га	5264,32	6875,32	5117,24	5341,12	30,4

Максимальных значений БЭПТ за все годы исследований достигал в бисортных посевах.

Экологическая емкость территории исследуемого агроландшафта объединяет в себя сумму энергосодержания наземной фитомассы, органического вещества почв и элементов минерального питания. Наибольшая экологическая емкость отмечается при оптимальных климатических показателях в 2021 году. Минимальные значения экологической емкости территории характерны для следующего более засушливого 2022 года. Значения наименьшей существенной разности подтверждают достоверность различий в полученных показателях (таблица 17).

Таблица 17 – Изменение экологической емкости территории исследуемого агроландшафта за 2020-2023 годы, ГДж/га

Экологическая емкость территории	Годы исследования				НСР ₀₅
	2020	2021	2022	2023	
сорт Наталия					
ГДж/га	4411,35	5185,62	4106,90	4261,01	67,5
сорт Улада					
ГДж/га	5214,31	6845,12	5107,89	5268,91	58,9
Наталия+Улада					
ГДж/га	6451,26	7016,45	6046,12	6389,88	71,4

Полученные коэффициенты корреляции между экологической емкостью исследуемой территории, БЭПТ и климатическими показателями свидетельствуют о тесной корреляционной зависимости с показателем ГТК и осадками. Между

температурой и исследуемым показателем выявлена слабая корреляционная зависимость (таблица 18).

Таблица 18 – Значения коэффициента корреляции между БЭПТ / экологической емкостью территории, ГТК, осадками и t в вариантах опыта

Показатели	БЭПТ			Экологическая емкость территории		
ГТК	0,99±0,01	0,96±0,03	0,97±0,02	0,99±0,01	0,96±0,04	0,98±0,01
Осадки	0,98±0,01	0,97±0,02	0,93±0,04	0,98±0,01	0,96±0,04	0,92±0,05
t	0,31±0,01	0,29±0,01	0,29±0,02	0,27±0,02	0,29±0,02	0,25±0,02
	Наталия	Услава	Наталия + Услава	Наталия	Услава	Наталия + Услава

Примечание: обозначения те же, что и в таблице 2.

В целом, полученные показатели экологической емкости территории и ее биоэнергетического потенциала позволяют применить комплексный подход к оценке продуктивности сельскохозяйственной экосистемы.

ВЫВОДЫ

1. Установлено достоверное влияние, как климатических показателей, так и сортовых особенностей фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*) на продолжительность следующих основных фаз ее развития: «посев-всходы», «всходы-бутонизация», «всходы-цветение». К моменту созревания семян происходит выравнивание периода вегетации и созревание семян начиналось приблизительно в одно время, для сорта Наталия – 81±5 день, а для сорта Услава – 80±7 дней.

2. Изученные морфо-биологические особенности фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*) определяются сортовыми особенностями растения, которые достоверно отличаются у исследуемых сортов. Для сорта Наталия характерна средняя высота растения 77,1±10,0 см, диаметр куста 43,4±4,1 см, диаметр стебля 1,0±0,3 см, длина соцветия 18,2±2,9, для сорта Услава – 68,3±2,5 при НСР₀₅ = 1,5, 40,0±2,7 при НСР₀₅ = 1,3, 2,0±0,4 при НСР₀₅ = 0,4 и 10,1±1,3 при НСР₀₅ = 0,7 соответственно. Помимо сортовых особенностей, на морфо-биологические показатели влияют климатические условия, прежде всего ГТК и среднегодовое количество осадков.

3. Агрономический эффект взаимодействия по показателям биопродуктивности наземной и подземной фитомассы фацелии в различные периоды роста и развития определялся сортовыми особенностями и эффектом взаимодействия, при этом максимальных показателей сидерального пара наземная биомасса достигала в бисортовых посевах сортов Наталия и Услава, которая в период бутонизации достигла 184±12,1 ц/га, в период цветения – 248±11,5 ц/га, максимальные значения биопродуктивности получены перед запашкой в период начала созревания семян – 310±11,5 ц/га. При этом по сортам отдельно были получены более низкие значения биомассы сидерального пара: Услава в период бутонизации – 160±9,8 ц/га, цветения – 179±10,6 ц/га, в период начала созревания семян – 287±10,6 ц/га, Наталия – 163±11,2 ц/га, 180±10,1 ц/га и 195±10,1 ц/га соответственно.

На биопродуктивность наземной и подземной фитомассы фацелии повлиял климатический фактор. Так, наибольшие показатели биомассы были получены в благоприятном, с точки зрения климатических показателей, 2021 году (ГТК = 1,33), минимальные получены в более засушливом и прохладном 2022 году (ГТК = 0,82).

4. В агроклиматических условиях Воронежской области массовое цветение сортов Услава и Наталия отмечалось в разные периоды на 55 и 47 дни соответственно, что благоприятствует созданию медоносного конвейера. Достоверно большей нектаропродуктивностью обладает сорт Наталия – 720,1 кг/га, по сравнению с сортом Услава – 614,6 кг/га. Наибольшие показатели нектаропродуктивности были получены в бисортных посевах – 800,9 кг/га. На показатель нектаропродуктивности оказывает влияние гидротермический коэффициент и среднегодовое количество осадков. При ГТК равном 0,82 (минимальное значение за исследуемый период), нектаропродуктивность составила 787,4 кг/га, при ГТК 1,33 (максимальное значение за исследуемый период), нектаропродуктивность увеличилась до 825,8 кг/га.

5. Наибольшей медопродуктивностью обладает сорт Наталия – 411,6 кг/га, по сравнению с сортом Услава – 396,2 кг/га. Достоверно большие показатели у сорта Наталия связаны с более длинным размером их соцветий, на которых помещается большее количество цветков. Максимальная медопродуктивность получена в бисортных посевах – 421,7 кг/га. Достоверно большие показатели нектаропродуктивности и медопродуктивности при совместном выращивании сортов связаны с их бисортными взаимодействиями. Медопродуктивность определяется климатическими показателями, ГТК и среднегодовым количеством осадков. При ГТК – 0,82 (осадки 553 мм), медопродуктивность составила 415,1 кг/га, при ГТК – 1,33 (осадки – 634 мм), медопродуктивность возросла до 437,8 кг/га. При этом показатели медопродуктивности были стабильно высокими, не ниже 400 кг/га вне зависимости от ГТК, что значимо для пчеловодства.

6. Возделывание фацелии пижмолистной приводит к трансформации почвенного компонента. Отмечается накопление доступной влаги в почве агроценоза уже в период бутонизации в слое 0-30 см $54 \pm 1,3$ мм, а также после заделки фацелии на глубину 10-12 см до $60 \pm 1,1$ мм, по сравнению с контрольным вариантом $27 \pm 1,7$ мм. Выращивание фацелии, а также ее заделка на глубину приводит к нормализации кислотности почвенного покрова. Так, в период бутонизации значения pH_{KCl} составляли $5,7 \pm 0,2$ единиц, а после заделки на глубину – $6,3 \pm 0,1$, на контрольном участке значения кислотности практически не менялись и в конце вегетационного периода составляли $5,3 \pm 0,3$ единицы.

7. Внесение биомассы фацелии пижмолистной в качестве сидерального удобрения, которым достигается агроэкологический эффект, приводит к достоверному увеличению содержания гумуса в почве, в варианте опыта с фацелией оно составляет $7,9 \pm 0,2\%$, в контрольном варианте – $6,3 \pm 0,2\%$. В варианте опыта с применением фацелии отмечается достоверно большее содержание аммонийного азота ($98,0 \pm 4,1$ мг/кг), подвижного

фосфора ($167 \pm 5,8$ мг/кг) и обменного калия ($169 \pm 3,8$ мг/кг). В то время как на контрольном варианте содержание минеральных элементов составило $76,0 \pm 2,1$ мг/кг, $116 \pm 3,6$ мг/кг и $134 \pm 2,8$ мг/кг соответственно.

8. Наибольшие значения энергосодержания как наземной ($159,95$ ГДж/га), так и подземной ($49,13$ ГДж/га) биомассы фацелии пижмолистной в среднем за период исследований в агроэкологических условиях лесостепи Воронежской области получены в бисортных посевах. Достоверно большие значения энергосодержания органического вещества и элементов минерального питания на исследуемом черноземе типичном получено при сочетании сортов Наталия и Услава. Величина биоэнергетического потенциала территории (БЭПТ) сельскохозяйственной экосистемы за период исследований наибольших значений достигла в бисортных посевах ($5649,95$ ГДж/га), более низкие в монопосевах: Наталия – $4446,36$ ГДж/га, Услава – $5287,6$ ГДж/га.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Использование бисортных посевов фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia*) Услава и Наталия позволяет получить повышенное количество наземной и подземной биомассы сидерата, а также является базой для создания медоносного конвейера в агроклиматических условиях сельскохозяйственных экосистем ЦЧР. Посев культуры осуществлять с 1 по 10 мая, в период оптимального показателя ГТК, на глубину заделки семян 2-3 см, с междурядьем 45 см.

2. Совмещать в сидеральных парах сорт Наталия и Услава, поскольку помимо медоносного конвейера отмечается бисортное взаимодействие, приводящее к достоверному повышению урожайности наземной биомассы в среднем на 69 ц/га, увеличение нектаропродуктивности на $133,6$ кг/га и медопродуктивности на $17,8$ кг/га.

3. Рекомендуется использовать фацелию пижмолистную в сидеральных парах сельскохозяйственных экосистем лесостепной части Воронежской области. Укос биомассы и ее заделку в почву осуществлять в период с 20 по 30 июля, после 21:00, чтобы предотвратить запашку летных пчел. В период, когда фацелия начинает образовывать первые семена, на глубину 10-12 см с предварительным измельчением, используя мულчер.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективным направлением продолжения исследований является изучение урожайности семян различных районированных хозяйственно-ценных культивируемых сортов и видов фацелии в агроклиматических условиях Воронежской области с определением экономической эффективности их получения. Актуальный научный и практический интерес для сельскохозяйственной отрасли представляет определение показателей ценности культуры как кормовой базы животноводческого направления АПК региона.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях из перечня ВАК РФ

1. Панин, Е. В. Теоретические основы управления биоресурсным потенциалом базовых компонентов агроэкосистемы / Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 6(54). – Режим доступа: <https://doi.org/10.51419/202126630>.

2. Панин, Е. В. Агроэкологическое значение фацелии в агроценозах ЦЧР / Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2024. – Т. 20, № 3. – С. 16-22.

3. Панин, Е. В. Биоресурсный потенциал фацелии в агроценозах ЦЧР / Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2024. – Т. 20, № 4. – С. 87-94.

4. Панин, Е. В. Биопродуктивность фацелии в различные фазы вегетации / Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2025. – Т. 21, № 1. – С. 53-60.

Публикации в других изданиях

5. Стрибная, А. Е. Состояние почвенных ресурсов сельскохозяйственных предприятий Воронежской области на примере КФХ Азовцев В.А. Каширского района / А. Е. Стрибная, Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Ступени в науку: теория, практика, инновации в АПК: материалы национальной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Воронеж, 12–13 июня 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 166-173.

6. Панин, Е. В. Использование биопрепаратов, как биологический способ повышения ресурсного потенциала агроэкосистем/ Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Достижения и перспективы в сфере производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы IV национальной научно-практической конференции, посвященной 45-летию ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, Майский, 10 ноября 2023 года. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. – С. 61-66.

7. Панин, Е. В. Инновационные технологии применения биологически активных препаратов в повышении ресурсов агроэкосистем / Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Вавиловские чтения - 2023: Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 136-летию со дня рождения академика Н.И. Вавилова, Саратов, 23–25 ноября 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 501-510.

8. Панин, Е. В. Продуктивность и агроэкологическое обоснование использования сидеральных культур в сельскохозяйственных экосистемах ЦЧР / Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Роль аграрной науки в устойчивом развитии АПК: Материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной 73-летию Курского ГАУ, Курск, 15 мая 2024 года. – Курск: Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, 2024. – С. 137-143.

9. Панин, Е. В. Сравнительный анализ использования сидеральных культур в ЦЧР / Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Научное обеспечение интенсификации сельскохозяйственного производства в современных условиях: Материалы Всероссийской научно-практической

конференции с международным участием и Школы молодых ученых, Белгород, 20–21 июня 2024 года. – Белгород: ООО "КОНСТАНТА-принт", 2024. – С. 145-148.

10. Панин, Е. В. Сидеральные культуры в агроэкосистемах, как основа биологизации земледелия / Е. В. Панин // Актуальные проблемы землеустройства, кадастра и природообустройства: материалы VI международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ, Воронеж, 26 апреля 2024 года. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – С. 223-226.

11. Панин, Е. В. Опыт использования фацелии в сельскохозяйственных экосистемах / Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Приоритеты научно-технологического развития агропромышленного комплекса в современных условиях: сборник научно-практических материалов Международной научно-практической конференции, Казань, 05–07 июня 2024 года. – Казань: ФГБОУ ДПО «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса», 2024. – С. 530-537.

12. Панин, Е. В. Реализация биоресурсного потенциала сортов фацелии в агроклиматических условиях ЦЧР / Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Воронеж, 25–26 сентября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. – С. 210-215.

13. Панин, Е. В. Управление биологическим ресурсом агроценоза фацелии за счет сортовых особенностей / Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Достижения и перспективы в сфере производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы V национальной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Г.С. Походни, Майский, 18 октября 2024 года. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2024. – С. 65-68.

14. Панин, Е. В. Анализ временной динамики роста и развития фацелии в агроценозах ЦЧР / Е. В. Панин, Е. А. Высоцкая // Актуальные вопросы аграрной науки: теория и практика: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию агрономического факультета, Киров, 17 декабря 2024 года. – Киров: Вятский государственный агротехнологический университет, 2024. – С. 177-181.