



### **Влияние климатических факторов на развитие заболеваний дуба черешчатого (*Quercus robur L.*) на примере мучнистой росы**

**Олег В. Серебряков**<sup>1</sup>✉, o-ser00@mail.ru  <https://orcid.org/0009-0006-1171-0368>

**Елена В. Турчанинова**<sup>1</sup>, misstur@yandex.ru  <https://orcid.org/0009-0003-1800-240X>

**Николай Н. Харченко**<sup>1</sup>, forest.vrn@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-7645-2642>

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

#### **Аннотация**

Мучнистая роса, вызванная *Erysiphe alphitoides*, является одним из наиболее опасных грибковых заболеваний дуба черешчатого (*Quercus robur L.*), поражающим растения в широком географическом ареале. Заболевание вызывает значительное снижение физиологических функций деревьев, включая угнетение фотосинтеза (до 3,5 раз) и увеличение устьичной проводимости (на 60%), что особенно критично для старовозрастных дубов и насаждений в условиях городской среды.

Целью исследования являлось выявление взаимосвязи климатических факторов (температуры, влажности, уровня осадков) и распространения мучнистой росы на дубе черешчатом в условиях Воронежской Нагорной Дубравы. Объектами исследования стали 80 старовозрастных дубов на участках с различными микроклиматическими условиями. Для анализа спороношения использовался метод улавливания спор с использованием предметных стекол с агаровыми полосками, установленными в кронах деревьев. Климатические данные фиксировались в период наблюдений.

Результаты показали усиление спороношения при повышении температуры воздуха свыше 22°C и влажности 70–80%. Максимальная концентрация конидий (92 споры/см<sup>2</sup>) зафиксирована в благоприятных метеоусловиях. Установлена значительная роль микроклиматических условий в развитии заболевания, что необходимо учитывать при разработке методов защиты насаждений. Предложенная методология сбора данных позволяет создать научные предпосылки для активного мониторинга масштабов спороношения и раннего прогнозирования вспышек мучнистой росы на основе текущих климатических данных. В долгосрочной перспективе результаты исследования будут полезны для обеспечения устойчивого управления дубовыми лесами, предотвращения деградации.

**Ключевые слова:** мучнистая роса (*Erysiphe alphitoides*), дуб черешчатый (*Quercus robur L.*), климатические изменения, патоген.

**Финансирование:** данное исследование не получало внешнего финансирования.

**Благодарности:** авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Серебряков, О. В. Влияние климатических факторов на развитие заболеваний дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на примере мучнистой росы / О. В. Серебряков, Е. В. Турчанинова, Н. Н. Харченко // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 2 (58). – С. 122-141. – Библиогр.: с. 138-140 (16 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.2/8>.

Поступила 17.02.2025. Пересмотрена 22.04.2025. Принята 26.05.2025. Опубликована онлайн 26.06.2025.

Article

### **Influence of climatic factors on the development of diseases of oak petiole (*Quercus robur* L) on the example of powdery mildew**

Oleg V. Serebryakov<sup>1</sup> ✉, o-ser00@mail.ru  <https://orcid.org/0009-0006-1171-0368>

Elena V. Turchaninova<sup>1</sup>, misstur@yandex.ru  <https://orcid.org/0009-0003-1800-240X>

Nikolay N. Kharchenko<sup>1</sup>, forest.vrn@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-7645-2642>

*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation*

#### **Abstract**

Powdery mildew is a fungal disease caused by the pathogen *Erysiphe alphitoides* and affects sweet oak (*Quercus robur*), a tree species found across a wide geographical region. The disease significantly impairs the physiological functions of affected trees, leading to a reduction in photosynthesis by up to 3.5 times and an increase in stomatal conductivity by 60%. This is particularly critical for mature oaks in urban areas.

Our study aimed to investigate the relationship between climatic conditions, such as temperature, humidity, and precipitation, and the spread of powdery mildew in the Voronezh region's Upland Oak Groves. We focused on 80 mature oak trees in areas with varying microclimates, using the method of spore collection on agar strips placed in the tree crowns. Climate data were recorded during the observational period.

The findings revealed an increase in powdery mildew sporulation with rising temperatures above 22 °C and humidity between 70-80%. The highest concentration of conidia, reaching 92 spores/cm<sup>2</sup>, was observed under favorable weather conditions. Our study underscores the crucial role of microclimate in the development of the disease, emphasizing the need for tailored strategies in forest management. By employing the proposed data collection approach, we can lay the groundwork for proactive monitoring of sporulation patterns and early prediction of powdery mildew outbreaks, leveraging current climate information. In the long run, these findings contribute to sustainable oak forest management, mitigating the risk of forest degradation.

**Keywords:** *powdery mildew (Erysiphe alphitoides), petiolate oak (Quercus robur L.), climate change, pathogen*

**Funding:** This study received no external funding

**Acknowledgements:** The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of the article.

**Conflict of interest:** The authors stated that there was no conflict of interest.

**For citation:** Serebryakov O.V., Turchaninova E.V., Kharchenko N.N. (2025). The influence of climatic factors on the development of diseases of black oak (*Quercus robur* L.) on the example of powdery mildew / Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 2 (58), pp. 122-141 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.2/8>.

*Received* 17. 02.2025. *Revised* 22.04.2025. *Accepted* 26.05. 2025. *Published online* 26.06.2025.

### Введение

Одной из распространённых патологий листовых растений выступает мучнистая роса. При поражении растения данной болезнью нарушаются основные процессы метаболизма, что приводит к замедлению роста, снижению зимостойкости и ухудшению устойчивости к неблагоприятным условиям окружающей среды. Высокая агрессивность грибов, вызывающих мучнистую росу, делает изучение их биоэкологических особенностей актуальной задачей, особенно учитывая разнообразие лесорастительных зон. В условиях города Воронежа необходимость подобных исследований определяется тем, что листовые растения, подверженные данной патологии в различной степени, занимают основное место в объектах ландшафтной архитектуры. Мучнистая роса является одним из самых распространённых грибковых заболеваний дуба черешчатого. Обычно считается, что причиной появления характерного белого налета на листьях является сумчатый гриб из рода *Microspore*. Однако зарубежные исследования также связывают это заболевание с грибом *Erysiphe alphitoides* [1]

Грибы, вызывающие мучнистую росу, являются облигатными биотрофами, которые поглощают питательные вещества из живых клеток растения-хозяина, не убивая их, с помощью специализированных структур, называемых гаусториями [2]. Таким образом, они забирают у растения фотосинтезируемые вещества для собственного питания [3].

Исследования физиологических последствий заражения листьев дуба мучнистой росой показали, что болезнь отрицательно влияет на скорость ассимиляции CO<sub>2</sub>, хотя влияние было умеренным, и фотосинтез сохранялся даже при почти полном покрытии поверхности листа мицелием [4]. Мучнистая роса особенно губительно воздействует на молодые саженцы в питомниках, на плантациях и в условиях естественного возобновления, а также на взрослые

деревья в сочетании с другими факторами, приводящими к их ослаблению. Сообщалось о замедлении роста и изменениях в росте молодых саженцев дуба черешчатого [5]. Однако в настоящее время нет данных о замедлении роста более старых деревьев с умеренным поражением.

Влияние погодных факторов на степень заражения дубов мучнистой росой обсуждается с момента первых эпидемий этого заболевания, начавшихся в начале XX века. Исследования того времени показали, что внезапная вспышка поражения в Европе после нескольких десятилетий редкого возникновения заболевания могла быть обусловлена исключительно благоприятными погодными условиями, наблюдавшимися в 1907-1908 годах. Ученые предположили, что сочетание температуры, влажности и других климатических факторов создало идеальные условия для развития гриба *Erysiphe alphitoides*, вызывающего мучнистую росу [5].

В последующие годы наблюдались колебания в интенсивности заболевания, что также указывало на связь с климатическими условиями. Тем не менее, несмотря на это, не удалось выделить явных последовательных погодных факторов, которые можно было бы однозначно идентифицировать как ключевые для объяснения динамики заражения. Это свидетельствует о том, что влияние климата на распространение мучнистой росы может быть сложным и многогранным.

Следует отметить, что мучнистая роса быстро распространилась по всем европейским странам и другим континентам, успешно адаптируясь к различным экологическим условиям. С тех пор этот гриб обосновался во всех регионах, где произрастают его основные хозяева — листовые дубы, что подтверждает его устойчивость и расширяемость в самых разных климатических условиях - от северных территорий Скандинавии до южных стран и Восточной Европы.

Л.В. Ширнина провела обширное исследование, посвящённое вредоносности мучнистой росы дуба черешчатого (*Erysiphe alphitoides*), выявив увеличение поражённых деревьев с каждым годом. В её работах отражена зависимость урожайности дуба черешчатого от интенсивности развития заболевания. Анализируя результаты её исследований, можно сделать вывод о устойчивом снижении продуктивности дубрав в условиях активного распространения мучнистой росы, что подчёркивает важность разработки и внедрения эффективных мер борьбы с этим заболеванием. Для систематизации подходов к противодействию патогену в рамках настоящей работы был проведён анализ климатических изменений в черте города Воронеж [8].

Исследования С.В. Колмукиди показывают, что мучнистая роса обладает высокой патогенностью и способностью к активному развитию при благоприятных климатических условиях. Среди косвенных факторов, стимулирующих развитие заболевания, ключевую роль играют тёплая погода и достаточная влажность, поскольку именно эти параметры создают оптимальную среду для увеличения количества конидий возбудителя [6].

М.М. Левитин в своих работах проанализировал взаимосвязь развития растительных болезней, включая мучнистую росу, с изменениями климатических условий. Исследования на северо-западе России показали, что увеличение среднегодовой температуры и количества атмосферных осадков приводит к учащению вспышек мучнистой росы у ячменя. Этот пример подчёркивает прямую связь между ростом температуры и активным распространением патогена [7].

Развитие мучнистой росы на дубе черешчатом позволяет отнести её к числу самых вредоносных заболеваний древесных растений. Согласно исследованиям Л.В. Ширниной, интенсивное развитие болезни тесно связано с уменьшением урожайности дубрав Воронежской области. Косвенным показателем этой взаимосвязи служит снижение или отсутствие урожая в годы пиковой активности патогена, что подтверждает необходимость комплексного подхода к защите дубовых насаждений [8].

Существенный вклад в изучение патогено-комплексов древесных пород внесла М.А. Томошевич. В её докторской диссертации была впервые составлена сводка данных по патогенам для Сибири, а также проанализирована динамика развития мучнисторосяных грибов. Установлено, что повышение температур в весенне-летний период способствует увеличению числа конидий и ускорению развития патогена. Важной закономерностью, выявленной в её исследованиях, является влияние сдвига фенологических фаз на развитие мучнистой росы: это может как угнетать патоген, так и провоцировать вспышки эпифитотий [9].

Работы О.Ю. Емельяновой подчёркивают важность фенологических наблюдений в изучении патогенов древесных пород. Она акцентирует внимание на том, что в разные фазы вегетации растений агрессивность патогенов может значительно усиливаться, что представляет серьёзную угрозу стабильности лесных экосистем. Эти наблюдения указывают на необходимость учёта фенологических особенностей в разработке мер контроля за развитием грибковых заболеваний [10].

Обобщая данные из литературных источников, можно утверждать, что развитие мучнистой росы напрямую связано с изменением климатических условий. Поддержка оптимальной температуры и влажности в тёплый период года создаёт предпосылки для активного спороношения патогена и поражения древесных растений, что требует системного подхода к защите лесных массивов, включая старовозрастные дубравы.

Виды мучнистой росы с широким географическим ареалом способны находить благоприятные условия для своего развития практически в любом месте в определенные периоды года. Этот феномен объясняется колоссальным потенциалом к спорообразованию и распространению, который позволяет им воспользоваться благоприятными периодами для быстрого увеличения численности и охвата новых территорий. В связи с этим особое внимание следует уделить микроклимату, который может быть не менее важен, чем общий региональный климат. Этот фактор объясняет, почему предыдущие исследования не смогли четко определить благоприятные климатические или микроклиматические условия для

развития мучнистой росы на дубах, исходя из годовых колебаний заболеваемости и экспериментальных данных.

Таким образом, для более глубокого понимания влияния погодных факторов на распространение мучнистой росы требуется всесторонний анализ как макро-, так и микроклиматических условий, что позволит более точно определить оптимальные условия для распространения *Erysiphe alphitoides* и разработать эффективные меры по контролю этого заболевания.

При обследовании дубрав в Воронежже было отмечено, что в случаях проявления мучнистой росы далеко не всегда удается обнаружить плодовые тела грибов рода *Microspore*. Несмотря на длительное совместное развитие деревьев-хозяев и грибных патогенов, заражение мучнистой росой может вызывать значительный ущерб. Например, уровень ассимиляции на пораженных листьях может снижаться до 3,5 раз, а устьичная проводимость возрастать в 1,6 раза, что при сильном поражении (более 60%) может привести к гибели растений. Это заболевание особенно опасно для ослабленных или старых деревьев в городских условиях [11].

Целью данного исследования является выявление взаимосвязи между климатическими факторами и распространением мучнистой росы (*Erysiphe alphitoides*) на дубе черешчатом в Воронежской Нагорной Дубраве.

### **Материалы и методы исследования**

Объектом данного исследования является мучнистая роса (*Erysiphe alphitoides*), поражающая дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), произрастающий на территории Воронежской Нагорной Дубравы. Территория изучения представляет собой старовозрастные дубравные насаждения, где дуб черешчатый является доминирующей лесобразующей породой. Учитывая значимость данного лесного массива и ключевую роль дуба в экосистеме, изучение состояния насаждений в условиях роста распространенности грибковых заболеваний является актуальной задачей.

Для получения данных по зараженности деревьев мучнистой росой, было проведено исследование 80 случайно отобранных экземпляров дуба че-

решчатого с видимыми признаками поражения патогеном. Подбор деревьев осуществлялся на участках с различными микроклиматическими условиями и степенью увлажненности почвы.

### **Методы сбора и анализа данных**

В основе методологии исследования лежал адаптированный способ улавливания конидий мучнистой росы, описанный в работе С.В. Колмукиди, применяемый для оценки интенсивности спороношения грибов в условиях естественных лесных экосистем. Метод включал использование предметных стекол с нанесенными агаровыми полосками, которые обеспечивали задержку спор в процессе их перемещения в воздушной среде. Установку стекол проводили непосредственно в кронах исследуемых деревьев, закрепляя их на ветвях с помощью конструкций из проволоки.

Далее, собранный материал подвергался исследованию с использованием счетной камеры Горяева. Подсчет числа конидий осуществлялся в заданном объеме суспензии, что позволило определить интенсивность спороношения на различных стадиях развития грибка. Методология позволяет фиксировать количество спор в краткосрочный период и оценивать патогенность заболевания в зависимости от климатических условий и этапа вегетационного сезона.

Полученные данные, отображающие уровень спороношения, обеспечивают понимание влияния грибкового патогена на насаждения, а также служат основой для практических рекомендаций по применению оздоровительных мероприятий.

Для анализа влияния мучнистой росы на продуктивность дуба черешчатого был проведен сравнительный анализ урожайности желудей в зависимости от степени развития заболевания. Учет урожайности позволил оценить, как уровень поражения деревьев влияет на способность дерева к репродукции. Сильное поражение крон грибом *Erysiphe alphitoides* приводит к снижению фотосинтетической активности и ослабляет общее физиологическое состояние деревьев, что, в свою очередь, может оказывать отрицательное влияние на формирование плодов.

Параллельно был проведен анализ климатических данных за два базовых периода (1961–1990

гг. и 1991–2020 гг.) для установления взаимосвязи между изменением среднегодовых температур, динамикой выпадения осадков и интенсивностью поражения деревьев мучнистой росой. В основе анализа лежала сравнительная оценка климатических параметров, что позволило выявить устойчивые тенденции в климатических изменениях и их влияние на развитие патогенов в изучаемой экосистеме.

Для выполнения данного исследования проведён также анализ научных публикаций, посвящённых изучению мучнистой росы в условиях Воронежской Нагорной Дубравы, а также произведён сбор и обработка климатических данных, предоставленных официальными источниками, включая материалы Главной геофизической обсерватории и данные научно-прикладного справочника «Климат России».

### **Результаты и их обсуждение**

Анализ состояния лесных ресурсов региона позволяет отнести его к категории лесодефицитных. Наблюдается ежегодное сокращение площадей лесных насаждений, при этом в лесном фонде ярко выражена тенденция к уменьшению доли дуба. Это явление связано с циклическим процессом усыхания дубрав, который наблюдается в течение последних ста лет. За этот период зарегистрировано три волны наиболее интенсивного отмирания дуба, происходившие в 1895-1911, 1928-1945 и 1964-1983 годах, что объясняется комплексом неблагоприятных экологических факторов [6].

Воронежская Нагорная Дубрава расположена в пределах правого берега реки Воронеж, к северу от города Воронеж, и представляет собой уникальный лесной массив с разнообразной флорой и фауной. Лес начинается непосредственно на городской территории, из-за чего испытывает постоянное воздействие антропогенных факторов. Его близость к городу обуславливает высокую рекреационную нагрузку, загрязнение окружающей среды, изменение природного ландшафта и формирование ряда экологических проблем, связанных с деятельностью человека. Несмотря на это, Нагорная Дубрава остаётся важным природным объектом, выполняющим экологические, рекреационные и образовательные функции, а также требует особого внимания в плане

сохранения и рационального использования её ресурсов. Площадь данной территории составляет 7027,7 га.

Дубовые насаждения Нагорной Дубравы представляют собой основу лесного массива и являются одним из главных природных богатств данной территории. Преобладающим видом здесь выступает дуб черешчатый (*Quercus robur*) (85% от общей площади леса), который образует старовозрастные лесные участки, формирующие характерный ландшафт этой местности. Наиболее продуктивные дубняки (250-300 м<sup>3</sup>/га), занимающие около одной четверти площади, встречаются в хорошо увлажнённых местах на суглинках. Помимо дуба, в древостоях часто встречаются примеси других древесных пород, таких как клён остролистный (*Acer platanoides*), липа мелколистная (*Tilia cordata*), ясень высокий (*Fraxinus excelsior*), а также отдельные экземпляры берёзы и осины. Состояние древесного покрова лесов подвержено влиянию различных заболеваний древесных насаждений. Мучнистая роса представляет собой одно из распространённых микозных заболеваний дуба черешчатого (*Quercus robur*), вызываемое грибом *Erysiphe alphitoides*. Это заболевание проявляется в виде белого налета на листьях растений [12].

Согласно данным лесопатологического мониторинга, проведённого в 2020 году, установлено, что около 60% деревьев в лесном массиве Воронежской Нагорной Дубравы демонстрируют признаки повреждения мучнистой росой. Отмечено, что инфекция активно распространяется на листовых породах, среди которых наиболее восприимчивым является дуб черешчатый (*Quercus robur*). Основные причины интенсивного развития патогена — благоприятные для него климатические условия, которые складываются под воздействием резких изменений погоды. Особенно высокое развитие заболевания наблюдается в периоды чередования жарких солнечных дней с прохладными и дождливыми, что создаёт оптимальную среду для роста и размножения грибов.

Установлено, что высокая влажность почвы и воздуха, в сочетании с достаточным теплом, значительно ускоряет инфекционные процессы, способствует образованию большего количества конидий и

активному инфицированию новых участков древесного покрова. Недостаточная вентиляция в плотных насаждениях также создаёт дополнительные условия для сохранения избыточной влажности на листьях и ветвях, что увеличивает риск поражения.

Мучнистая роса приводит к серьёзным нарушениям физиологических процессов у деревьев. Постепенное снижение фотосинтетической активности в результате заболевания сказывается на общем состоянии деревьев: ослабляются обменные процессы, нарушается рост (особенно у молодых деревьев), снижается способность к естественному восстановлению. Кроме того, поражённые деревья теряют зимостойкость, становятся менее устойчивыми к другим биотическим и абиотическим факторам, таким как вредители и засухи.

Для анализа динамики изменения температуры воздуха в регионе были использованы метеорологические данные, предоставленные метеостанцией г. Воронеж (станция № 34123 – Воронеж). В рамках исследования для изучения климатических

изменений были выбраны два базовых временных периода: 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. Для оценки температурных изменений использовались среднемесячные значения температуры воздуха.

Для анализа изменения температуры воздуха в регионе были собраны и исследованы данные с метеостанции г. Воронеж, а именно станция 34123-Воронеж. При изучении изменения климатических условий для сравнения температур были взяты два базовых периода с 1961 по 1990 гг. и с 1991 по 2020 гг. Для анализа температурных изменений были взяты среднемесячные значения. На Рисунке 1 графически отображены изменения среднемесячных температур воздуха за два основных периода. На диаграмме видно, что по всем месяцам происходит потепление в холодный и тёплый период. Лето в регионе с каждым годом становится все более жарким, зима не такой суровой и снежной.

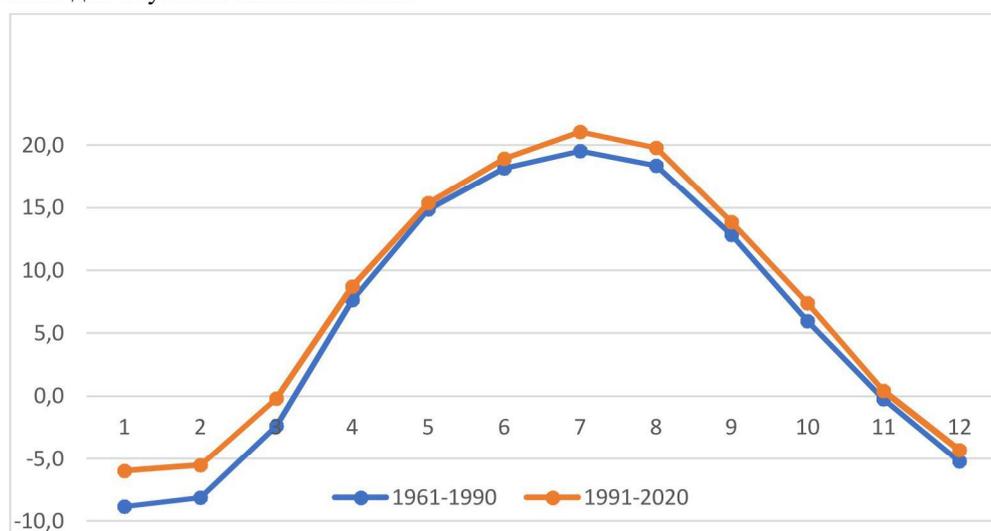


Рисунок 1. Изменения среднемесячных температур воздуха Воронежской области за два основных периода

Figure 1. Changes in the average monthly air temperatures of the Voronezh Region for two main periods of time

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Для более глубокого и детального исследования динамики температурных изменений в регионе был проведён анализ ежегодных изменений

среднемесячных температур за тёплый период (апрель–сентябрь) за расширенный временной интервал с 1950 по 2023 год. Данный период охватывает как середину XX века, так и начало XXI века, что

позволяет проследить долгосрочные климатические тренды на фоне глобального потепления и региональных климатических особенностей.

Для анализа использовались данные наблюдений, собранные с метеостанций региона. Среднемесячные температуры за тёплые сезоны каждого года были обобщены и проанализированы для

выявления тенденций изменения климатических условий. Полученные данные представлены в виде временных рядов, отражающих многолетние колебания средней температуры за анализируемый период, их график представлен на (Рисунке 2).

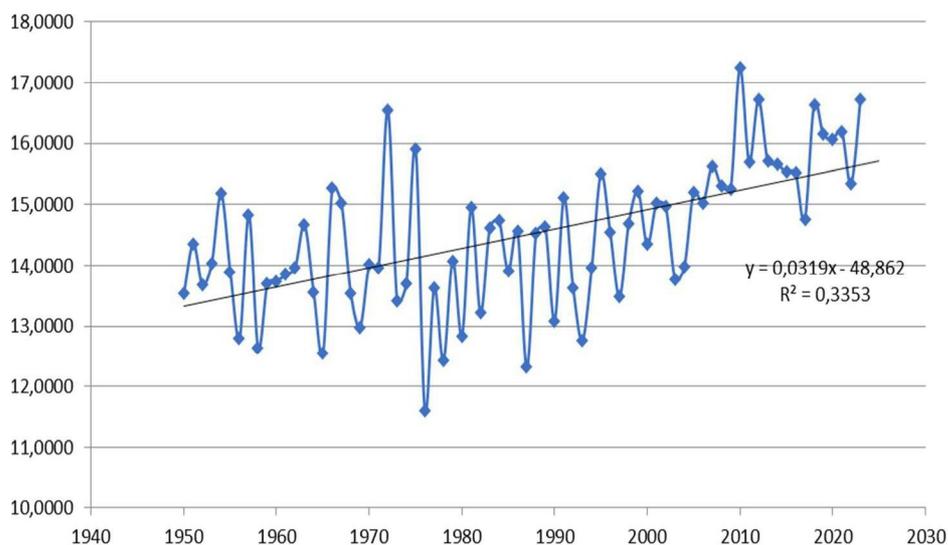


Рисунок 2. Изменение температуры воздуха в теплый период на территории Воронежской области  
Figure 2. Changes in air temperature during the warm period in the territory of the Voronezh Region

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Результаты климатического анализа свидетельствуют о наличии устойчивого роста среднемесячных температур за теплый сезон. Наиболее заметным трендом является увеличение средней температуры летних месяцев (июнь–август), которое наблюдается с конца XX века и продолжается в XXI веке. Ключевыми изменениями стали увеличение числа жарких дней, сопровождающееся повышением уровня температурных аномалий, что может быть связано как с глобальными процессами потепления атмосферы, так и с региональными факторами, такими как изменение ландшафтной структуры, урбанизация и другие антропогенные воздействия.

Проанализированные данные также выявили сокращение частоты прохладных летних сезонов и увеличение продолжительности высокотемпературных периодов. Рост температуры в рассматриваемом временном интервале оценивается в среднем на  $+1,5-2^{\circ}\text{C}$ , в зависимости от месяца и конкретного года. Кроме того, наблюдается тенденция к удлинению теплого сезона за счёт более раннего наступления весеннего потепления и смягчения осенних холодов.

Подобные тенденции изменяющихся температур имеют серьёзные последствия для экосистем региона. Для тёплого периода это может выражаться в изменении состава и структуры растений, почвенной деградации, сокращении биоразнооб-

## Естественные науки и лес

разия и усилении процессов сушения под влиянием более высоких летних температур. Адаптация природных и антропогенных систем к изменяющимся климатическим условиям требует дополнительного изучения факторов воздействия, а также разработки стратегий реагирования, направленных на снижение негативных климатических последствий.

Таким образом, прослеживается тенденция изменения климата в теплый период. Можно заметить, что лето до 1970 года немного прохладнее, чем после 1990 годов. С 2000 года фиксируется постоянное повышение среднегодовых температур в теплый период. Линия тренда отображает ежегодное повышение среднемесячных температур. Мы видим, что с 1972 года был зафиксирован резкий

скачок. Именно с этого года наблюдается потепление по всему региону.

Температурный максимум был зафиксирован в 2010 году. В этот же год фиксируется понижение количества осадков по всему региону. Важно отметить, что последнее десятилетие может стать самым теплым за все периоды среднегодовых температур в регионе. С 2010 по 2023 год среднегодовые температуры теплого периода не падают ниже 15 С<sub>о</sub>. В сравнении с первым базовым периодом, можно сделать вывод, что происходит повышение среднегодовых температур более чем на 1 С<sub>о</sub>.

В таблице 1 отображены среднесуточные температуры воздуха в г. Воронеж за исследуемый период.

Таблица 1  
Климатические показатели температуры воздуха г. Воронеж в период 14.06-26.06 (2019-2023 гг.)

Table 1  
Climatic indicators of air temperature in g. Voronezh in the period 14.06-26.06 (2019-2023.)

Источник: собственные экспериментальные данные  
Source: own experimental data

Исследуемый год/ The year under study	14.06	15.06	16.06	17.06	18.06	19.06	20.06	21.06	22.06	23.06	24.06	25.06	26.06	Total/ Итого
2019	19,2	21,5	19,4	21,1	21,9	22,5	24,24	25,6	25,9	27,1	25,4	22,7	20,3	22,815
2020	20,6	20,2	23,1	23,8	25,2	25,1	23,4	24,1	21,8	20,1	17,7	19,2	20,9	21,938
2021	20,9	22,5	19,8	20,9	21,2	22,22	22,8	25,2	27,3	28,2	28,8	28,1	28,5	24,323
2022	20	17,3	18	18,5	18,9	19,9	24,1	25,4	21,3	17,8	20	21,7	23,8	20,515
2023	15,1	17,2	20	22,3	21,21	18,9	19,6	18,1	17,8	19,3	21,2	17,9	16,2	18,815
Ср. знач. по датам/ Average value by date	19,16	19,74	20,1	21,32	21,6	21,7	22,8	23,68	22,82	22,5	22,62	21,9	21,9	21,682

Исследования проводились в период с 14 июня по 26 июня. Самым жарким периодом зафиксирован 2021 год. В этот год среднее значение по температуре воздуха в исследуемый период составила +24,3 С<sub>о</sub>. Самым холодным – 2023 год. Самые большие среднесуточные температурные колеба-

ния фиксируются в 2022 году, когда среднее температурное значение достигло +20,5 С<sub>о</sub>. Данные климатические показатели в ходе исследования должны стать наглядным индикатором влияния температур на патогенность мучнистой росы.

При изучении изменений климатических особенностей территории региона одним из важ-

ных показателей считаются осадки. В Воронежской области происходит неоднородное изменения выпадения осадков по всему региону. Наблюдения проводилось в сравнении двух базовых периодов с 1950 по 2020 годы. Изменения отслеживались в летнее время. По отношению к периоду 1961-1990 годы при анализе выпадения осадков на территории Воронежской области были зафиксированы изменения.

В летнее время зафиксировано уменьшение количество осадков в период 1991-2020 по сравнению с 1961-1990 гг. На территории области зафиксировано резкое снижения количества осадков.

Интересный факт, что при уменьшении количества по региону, на территории городского округа было зафиксировано повышение осадков. Можно сделать вывод, что довольно теплое и влажное лето в черте города влияет на патогенность мучнистой росы в Воронежской Нагорной Дубраве.

Одним из ключевых параметров, позволяющих оценить влияние климатических условий на развитие фитопатогенов, является гидротермический коэффициент. Данный показатель служит для количественной характеристики соотношения температуры и влажности, двух базовых факторов, которые определяют биологическую активность возбудителей болезней, включая грибы-патогены, вызывающие мучнистую росу.

ГТК – это комплексный показатель, отражает отношение суммы осадков за конкретный период к уменьшенной в 10 раз сумме температур выше +10°C:

$$\text{ГТК} = \frac{P}{\sum T_{>10^{\circ}\text{C}} 0,1} \quad (1)$$

По Г.Т. Селявину [13] выделяют следующие пределы коэффициента:

- 1) ГТК $\geq$ 1,6 – Увлажнение избыточное, в том числе зоны дренажа;
- 2) 1,3-1,6 – Достаточное увлажнение территории;
- 3) 1,0-1,3 – Слабозасушливые зоны;
- 4) 0,7-0,9 – Засушливые территории;
- 5) 0,5-0,7 – Сухие территории;
- 6) ГТК $<$ 0,5 – очень засушливые условия.

В качестве исходных данных для расчета гидротермического коэффициента нами были использованы данные наблюдений среднемесячной температурой воздуха и количеством осадков на станции 34123-Воронеж с 1950 по 2023 годы.

Полученные данные наглядно демонстрируют, что на территории города увеличивается увлажнение территории. Интересно, что областные центры южной части области, наоборот переходят в пределы более засушливых зон. Это можно объяснить тем, что на территории региона с каждым годом все чаще встречается одно из неблагоприятных метеорологических явлений – сильная жара.

Согласно показателям, приведённым в Таблице 2, количество осадков в Воронежской Нагорной Дубраве в период с 14 июня по 26 июня (2019–2023 гг.) характеризуется заметной неоднородностью.

Климатические показатели среднесуточных атмосферных осадков г. Воронеж в период 14.06-26.06  
(2019-2023 гг.)

Climatic indicators of average daily atmospheric precipitation in g. Voronezh in the period 14.06-26.06  
(2019-2023.)

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Исследуемый год/The year under study	14.06	15.06	16.06	17.06	18.06	19.06	20.06	21.06	22.06	23.06	24.06	25.06	26.06	Total/Итого
2019	0	9,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7
2020	2,7	2,9	0	0	0	0	2,9	0	0	1	9,7	0	0	1,4769
2021	5,3	0	4,1	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7692
2022	0,9	2,1	0	0	0	0	0	0	0,3	0,9	1,2	0	0	0,4154
2023	0,4	1	0,1	0	0	0	0	0	0	6,1	0	0	0,5	0,6231
Average value by date/ Ср. знач. по датам	1,8 6	3,0 2	0,8 4	0,1 2	0 0	0 0	0,5 8	0 0	0,0 6	0,0 1,6	2,1 8	0 0	0,1 0,1	0,7969

Это связано с особенностями резко континентального климата региона, при котором малое количество осадков в летний период является типичным явлением. Однако анализ ежесуточных осадков показывает значительные межгодовые различия, отражающие влияние аномальных метеорологических условий, характерных для последних десятилетий.

Наибольшее количество осадков за исследуемый пятилетний период было зафиксировано в 2020 году — среднесуточная сумма осадков составила 1,48 мм. Этот год выделяется тем, что осадки наблюдались в несколько дней исследуемого периода, причём на одну дату (20 июня) пришлось сразу 9,7 мм осадков, что значительно выше среднестатистического уровня для этого временного интервала. Это свидетельствует о кратковременных, но интенсивных дождях, характерных для региона в условиях неустойчивого летнего климата.

Наиболее сухим оказался 2022 год, когда среднесуточная сумма осадков составила всего 0,42 мм. Осадки в этот год выпадали крайне редко и имели минимальную продолжительность. Подобная тенденция характерна для южных регионов Воронежской области, которые с каждым годом всё чаще подвергаются воздействию засушливых условий, что вызвано общим потеплением климата. Для сравнения, в 2023 году количество осад-

ков также оказалось довольно низким, за исследуемый период было зарегистрировано всего 0,63 мм.

Средние значения по датам показывают, что осадки более равномерно распределялись лишь в отдельные дни, такие как 15 июня и 23 июня, когда фиксировались кратковременные, но относительно интенсивные осадки. Напротив, на протяжении большей части исследуемого периода дождей не наблюдалось, что подчёркивает крайне нестабильный характер выпадения осадков на территории региона.

Данные таблицы также показывают чувствительное влияние малой увлажнённости летнего периода на экосистему Воронежской Нагорной Дубравы. Недостаток влаги в сочетании с повышением температуры создаёт неблагоприятные условия для произрастания растений и способствует активному развитию фитопатогенов, таких как мучнистая роса. Отмеченная неоднородность осадков в исследуемом периоде требует дальнейшего изучения, чтобы более точно оценить климатические факторы влияния на биоразнообразие и здоровье лесных экосистем в условиях изменения климата.

На рисунке 3 представлены результаты расчётов гидротермического коэффициента (ГТК), выполненных на основе данных метеостанции

№34123 (г. Воронеж) за два базовых климатических периода. Анализ полученных данных позволяет выявить существенное изменение значения ГТК в пределах городского округа Воронеж во втором базовом периоде (1991–2020 гг.) по сравнению с первым (1961–1990 гг.).

Повышение ГТК объясняется влиянием урбанизированной среды, где усиливается парниковый эффект из-за высокой концентрации загрязняющих веществ и антропогенного воздействия. Эти факторы способствуют увеличению влажности воздуха и интенсивности локальных осадков в черте города, в то время как окружающие сельские территории остаются более засушливыми. Таким образом, городской микроклимат формирует более влажные и тёплые условия, что и способствует росту значений гидротермического коэффициента.

Данная климатическая динамика оказывает благоприятное воздействие на развитие патогенности таких фитопатогенов, как грибки, вызывающие мучнистую росу. Условия повышенной влажности в сочетании с умеренными температурами создают идеальную среду для активного спороношения и распространения болезни. Изменения в значениях ГТК, наблюдаемые в пределах городской экосистемы, подчёркивают значимость локальных факторов климата и их влияние на биоразнообразие. Подобная тенденция требует дополнительного внимания при разработке мероприятий по сохранению и защите растительного покрова в условиях изменяющихся климатических и антропогенных воздействий.

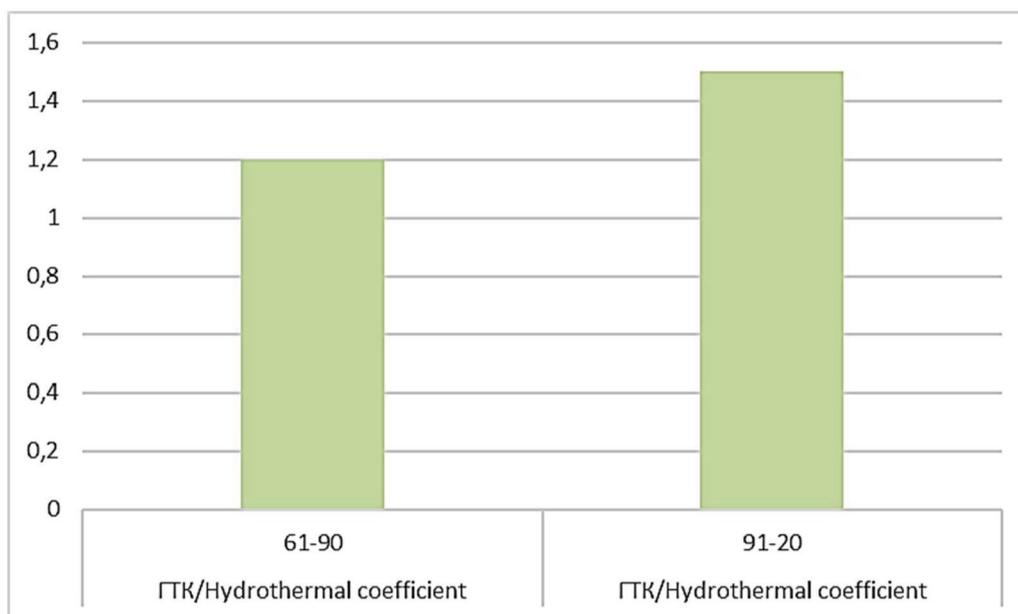


Рисунок 3. Диаграмма изменений значения ГТК Воронежской области за два базовых периода  
Figure 3. Chart of changes in the value of the State Customs Committee of the Voronezh Region for two base periods

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

На территории города Воронеж в период с 1991 по 2020 годы зафиксировано превышение значений гидротермического коэффициента (ГТК), что свидетельствует об изменении климатических условий в сторону увеличения степени

увлажнённости территории. Подобная трансформация гидротермического режима предполагает улучшение условий для развития патогенов, в частности возбудителей мучнистой росы. Следовательно, можно сделать вывод, что сложившиеся климатические изменения создают благоприятные предпосылки для активного распространения данного заболевания растений.

## Естественные науки и лес

Сводная диаграмма зависимости лета конидий от климатических показателей в период 14.06–26.06 (2019–2023 гг.) (рис.4) демонстрирует корреляцию между активностью спороношения патогенов (выраженной в количестве конидий, зафиксированном в указанный временной интервал) и климатическими условиями, такими как температура воздуха, уровень осадков, влажность и гидротермический коэффициент (ГТК). На горизонтальной оси (ось X) располагается временной интервал лет (годы от 2019 до 2023), а на вертикальной оси (ось Y) представлены показатели активности лета конидий и климатические параметры. Диаграмма совмещает несколько линий или столбцов, отражающих динамику ключевых климатических факторов и параллельное изменение интенсивности спороношения. Общий характер диаграммы позволяет выделить следующие закономерности:

- Увеличенная активность лета конидий наблюдается в годы с повышенной влажностью и

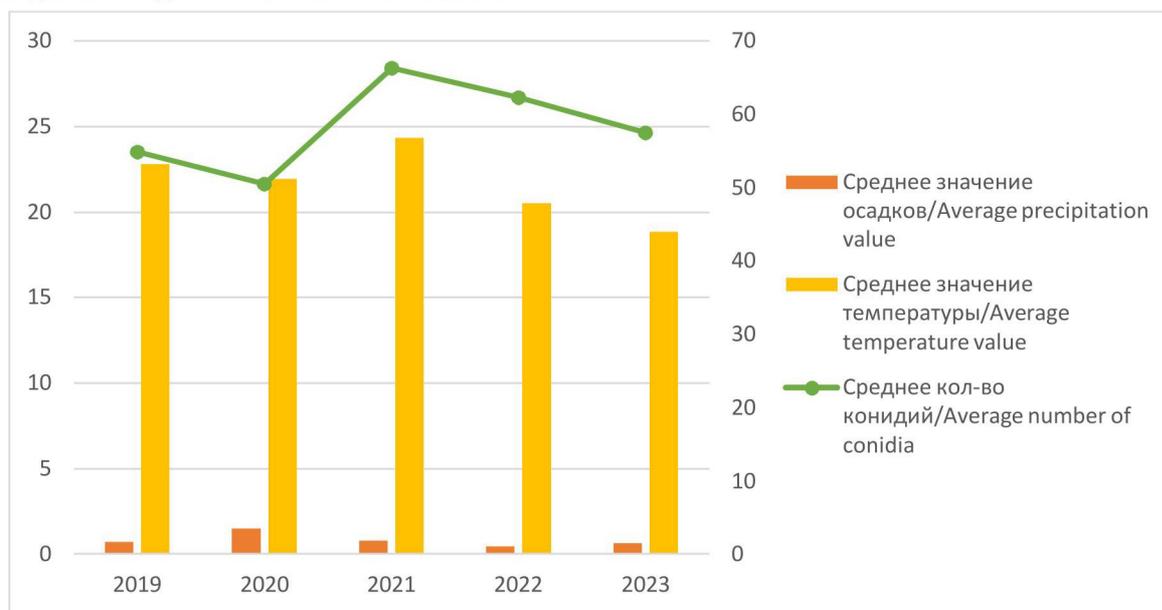


Рисунок 4. Сводная диаграмма зависимости лета конидий от климатических показателей в период 14.06-26.06 (2019-2023 гг.)

Figure 4. Summary diagram of conidia summer dependence on climate indicators in the period 14.06-26.06 (2019-2023)

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

В результате проведенного исследования по улавливанию конидий возбудителя мучнистой

увеличением ГТК, особенно в периоды стабильно высоких температур.

- Напротив, в годы с засушливыми условиями (уменьшение ГТК и осадков) активность конидий значительно снижается.

- Температура также играет важную роль, поддерживая или угнетая динамику спороношения в зависимости от её значений в исследуемый период.

Таким образом, данная диаграмма наглядно иллюстрирует влияние климатических факторов

на динамику лета конидий в изучаемый временной промежуток. Это позволяет сделать выводы о причинах колебаний активности патогенов, связанных с климатическими изменениями, и прогнозировать их развитие в зависимости от погодных условий.

## Естественные науки и лес

связано с аномально прохладным летом, характерным для данного региона. Дополнительным фактором, способствовавшим сокращению спороношения в 2020 году, стало неравномерное распределение осадков. В исследуемом периоде общее количество осадков оказалось низким, причем большая их часть (9,7 мм) выпала на один день — 24 июня.

Максимальная активность спороношения была зафиксирована в 2021 году. Это объясняется сочетанием благоприятных климатических условий: равномерной влажности воздуха, низкого количества атмосферных осадков и стабильных температур. В указанный период процесс лета конидий в конце июня отличался постепенным и плавным нарастанием, достигая наиболее высоких величин. Эти условия способствовали усилению патогенных свойств возбудителя мучнистой росы, что обусловлено повышенной активностью формирования и распространения конидий.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что основным фактором, определяющим интенсивность лета конидий, является повышение температуры воздуха в летний период.

Более ровный и стабильный температурный режим усиливает патогенные свойства возбудителя. Вторым значимым показателем выступает влажность территории, которая обуславливает развитие патогена. При этом наблюдается обратная зависимость: при снижении общего количества осадков увеличивается активность лета конидий. Однако при избыточных и постоянных осадках развитие и распространение патогена затрудняется либо становится невозможным, так как избыточное увлажнение создает неблагоприятные условия для спороношения. Таким образом, сочетание стабильных температурных условий и умеренной влажности способствует усилению процесса лета конидий и повышению патогенности возбудителя мучнистой росы.

Таблица 3 содержит данные о количестве конидий, зафиксированных на предметных стеклах модельных деревьев в исследуемый период (с 14 по 26 июня) разных лет (2019–2023). Представленные значения демонстрируют динамику спороношения возбудителя мучнистой росы в условно летний период по годам, а также позволяют выделить общие тенденции.

Таблица 3

Количество конидий, зафиксированные на предметных стеклах модельных деревьях в исследуемый период

Table 3

The number of conidia recorded on slides of model trees during the study period

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Исследуемый год/The year under study	14.06	15.06	16.06	17.06	18.06	19.06	20.06	21.06	22.06	23.06	24.06	25.06	26.06	Итого/Total
2019	56	60	58	46	64	52	45	57	50	62	42	68	54	54,92
2020	49	40	56	32	50	35	50	54	68	60	51	50	62	50,54
2021	59	58	56	92	65	87	58	51	78	68	72	36	82	66,31
2022	58	68	79	72	67	59	82	56	60	56	54	50	49	62,31
2023	65	60	46	58	64	62	67	42	65	50	63	54	52	57,54
Average value by date/ Ср. знач. по датам	57,4	57,2	59	60	62	59	60,4	52	64,2	59,2	56,4	51,6	59,8	58,32

Особое внимание следует обратить на 17 июня 2021 года, когда зафиксировано максимальное количество конидий (92) на предметных стеклах за

весь исследуемый период. Этот показатель значительно отличается от среднего значения для данной

даты (60 конидий) и указывает на высокую интенсивность спороношения в конкретный день. В целом, 2021 год характеризовался наиболее активным спороношением, о чём свидетельствует наибольшее среднегодовое значение – 66,31, что значительно превысило аналогичные показатели других лет.

- 2019 год – количество конидий колеблется от 42 до 68, со среднегодовым значением 54,92. Показатели относительно стабильны, однако активность спороношения в этот год уступает пиковым значениям других лет.

- 2020 год – зафиксировано снижение средней активности (среднегодовое значение 50,54) в сравнении с 2019 годом. Минимум приходится на 17 июня (32 конидии), что коррелирует с прохладным и неблагоприятным летом для развития патогена.

- 2021 год демонстрирует максимальные показатели среди всех исследуемых лет. Высокая плотность конидий была зафиксирована на протяжении всего периода, с пиковой активностью в 92 конидии 17 июня.

- 2022 год – число конидий остаётся относительно высокими на протяжении периода (среднегодовое значение 62,31). Динамика показывает сравнительно равномерную активность спороношения.

- 2023 год – зафиксированы умеренные значения количества конидий с небольшими колебаниями, среднегодовое значение составило 57,54.

Наибольшее среднее значение количества конидий зафиксировано 22 июня (64,2), что может быть связано с благоприятными метеоусловиями в этот день за все годы наблюдений. Минимальное среднее значение приходится на 25 июня (51,6).

- Динамика спороношения демонстрирует неравномерность развития, что связано с колебаниями температуры и влажности в регионе.

Таким образом:

- Показатели по годам и датам демонстрируют, что развитие патогена имеет выраженную зависимость от климатических условий. Наибольшая активность лета конидий наблюдается в 2021 году, что связано с благоприятными климатическими факторами – равномерной влажностью и стабильной температурой.

- Максимальное количество конидий зафиксировано 17 июня 2021 года (92 конидии), что значительно превышает средние значения как для данной даты, так и для всего периода, что подтверждает высокую патогенность в данный год.

- Среднегодовые значения, а также динамика лета конидий для каждого года соотносятся с общей тенденцией: более равномерные климатические факторы (стабильность температуры и умеренная влажность) способствуют активному спороношению.

Представленная таблица демонстрирует динамику спороношения возбудителя мучнистой росы, отражая тесную связь процесса лета конидий с погодными условиями.

Изучение корреляционной зависимости патогенности конидий возбудителя мучнистой росы с климатическими факторами является сложным и многоаспектным процессом, требующим длительных и систематических исследований. Полноценный анализ воздействия изменений температуры, влажности, количества осадков и других метеорологических параметров на динамику развития и интенсивность спороношения возбудителя возможен только на основе многолетних наблюдений, охватывающих временные периоды, достаточные для выявления устойчивых закономерностей. Долгосрочные исследования позволяют не только определить условия, наиболее благоприятные для спороношения и активизации патогенности, но и прогнозировать возможные изменения биологии возбудителя в условиях нынешних и будущих климатических изменений.

Климатические факторы играют ключевую роль в формировании благоприятной среды для развития таких заболеваний, как мучнистая роса. Анализ существующих данных свидетельствует о высокой чувствительности возбудителя к колебаниям температуры и влажности. В частности, умеренно-высокая влажность и стабильные температурные показатели способствуют быстрому увеличению патогенности конидий и их активному распространению среди растений-хозяев. Эти особенности требуют особого внимания, учитывая глобальные изменения климата, которые с высокой

вероятностью влияют на частоту и степень распространения грибных заболеваний.

На основе текущих результатов исследования можно сделать вывод, что разработка стратегий борьбы с мучнистой росой и защиты растительных насаждений от её негативного воздействия является первоочередной задачей сельского хозяйства, лесоводства, садоводства и ландшафтного проектирования. Активное изучение биологических свойств возбудителя, его взаимодействия с климатическими и экологическими факторами, а также разработка интегрированных методов контроля заболевания являются ключевыми направлениями научной и практической деятельности.

Борьба с мучнистой росой предполагает комплексный подход, который включает:

- мониторинг климатических условий, способствующих повышению патогенности возбудителя;
- изучение механизмов взаимодействия грибного патогена с растениями-хозяевами на физиологическом и молекулярно-генетическом уровнях;
- внедрение устойчивых к заболеванию сортов растений;
- совершенствование агротехнических мероприятий, направленных на предотвращение распространения болезни;
- разработку новых экологически безопасных средств защиты растений, минимизирующих пагубное воздействие заболевания на насаждения.

Таким образом, для преодоления угрозы, связанной с мучнистой росой, как в условиях настоящего времени, так и в долгосрочной перспективе, необходимо продолжать углублённый анализ биологических, климатических и экологических факторов, влияющих на патогенность и распространение возбудителя. Особое внимание должно быть уделено изучению воздействия заболевания на деревья, выращенные как в сельскохозяйственных экосистемах, так и на древесные насаждения в черте города. Урбанизированные территории, с их специфическими микроклиматическими условиями (повышенная температура, из-

менённая влажность воздуха, недостаток агротехнического ухода), становятся дополнительно уязвимыми перед распространением патогенных микроорганизмов, способных нанести серьёзный урон не только системам озеленения, но и городской экологии в целом.

Комплексное изучение данной проблемы, включая исследование устойчивости древесных насаждений в городах к патогену мучнистой росы, будет способствовать повышению эффективности защитных мероприятий, направленных на сохранение зелёных зон, снижение экономических потерь, а также обеспечение экологической устойчивости как агроландшафтов, так и урбанизированных экосистем. Укрепление здоровья древесных насаждений в черте города имеет стратегическое значение, поскольку они играют важную роль в поддержании качества воздуха, регулировании температуры, улучшении микроклимата и повышении эстетической привлекательности городской среды.

### **Заключение**

В результате проведенного анализа климатических изменений в Воронежской области выявлены ключевые тенденции, оказывающие влияние на развитие и распространение грибкового заболевания дуба черешчатого, вызванного возбудителем *Erysiphe alphitoides*. Устойчивое повышение среднемесячной температуры воздуха, особенно в теплый период, в сочетании с изменением характера выпадения атмосферных осадков и увеличением влажности воздуха создаёт благоприятные условия для активизации патогенных грибов.

Долговременные исследования среднемесячного уровня осадков и температурного режима показали, что климатическая стабильность в летние месяцы второго климатического базового периода способствовала расширению зоны увлажнения, о чём свидетельствуют расчёты гидротермического коэффициента (ГТК). Если в первом базовом периоде большую часть территории характеризовала слабозасушливая зона, то во втором периоде произошёл переход к зоне достаточно увлажнённых условий. Это изменение стало ключевым фактором, способствующим усилению спороношения *Erysiphe alphitoides*.

Пятилетний мониторинг концентрации конидий гриба в летний сезон подтвердил значительное влияние температурного и влажностного режимов на биологию патогена. Наблюдалась тенденция к увеличению численности конидий с 2019 по 2021 годы, что коррелировало с ростом температуры и достаточно равномерным увлажнением. Однако уменьшение осадков в 2022–2023 годах привело к снижению концентрации спор, что ещё раз подчеркивает значимость климатических факторов для развития грибных заболеваний.

Анализ сезонного развития конидий *Erysiphe alphitoides* показал, что интенсивность проявления мучнистой росы тесно связана с термическим режимом и уровнем увлажнения вегетационного периода. Комплексное влияние данных факторов определяет пики активности патогена, позволяя прогнозировать периоды вспышек заболевания. Эти выводы подтверждают критическую важность учёта климатических параметров при планировании лесозащитных мероприятий.

Результаты исследования подчеркивают необходимость адаптации системы защиты дуба черешчатого к меняющимся климатическим условиям региона. Введение системного подхода к разработке стратегии профилактики и борьбы с грибковыми заболеваниями, включая мониторинг погодных условий, оценку биологических особенностей патогена и внедрение адаптивных мер управления экосистемами, позволит минимизировать ущерб, наносимый мучнистой росой, и повысить устойчивость дубрав к неблагоприятным климатическим трендам.

Таким образом, полученные данные создают основу для построения более точных моделей прогноза вспышек мучнистой росы, что открывает возможности для эффективного управления лесозащитными усилиями, направленными на сохранение экосистем и обеспечение их биологической стабильности в условиях усиливающихся климатических изменений.

### Список литературы

1. Колмукиди, С. В. Мучнистая роса дуба в защитных лесных насаждениях Волгоградской области // Природные системы и ресурсы. – 2003. – Т. 13. – № 3. – С. 5-14. DOI 10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.1.
2. Glawe, D. A. The powdery mildews: a review of the world's most familiar (yet poorly known) plant pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 2008; 46(1):27-51.
3. Hewitt H. G., Ayres P.G. Effect of infection by *Microspheera alphitoides* (powdery mildew) on carbohydrate levels and translocation in seedlings of *Quercus robur*. *New Phytologist.* 1976; 77(2): 379-390.
4. Hajji M., Dreyer E., Marçais B. Impact of *Erysiphe alphitoides* on transpiration and photosynthesis in *Quercus robur* leaves. *European Journal of Plant Pathology.* 2009; 125:63-72.
5. Marçais B., Desprez-Loustau M. L. European oak powdery mildew: impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change. *Annals of Forest Science.* 2014; 71:633-642.
6. Copolovici L., Väärtnõu F., Estrada V.P., Niinemets U. Oak powdery mildew (*Erysiphe alphitoides*)-induced volatile emissions scale with the degree of infection in *Quercus robur*. *Tree Physiology.* 2014; 34 (12): 1399–1410. DOI: 10.1093/treephys/tpu091.
7. Левитин М. М. Распространение болезней растений в условиях глобального изменения климата / М. М. Левитин // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. – 2016. – № 13. – С. 97-101.
8. Ширнина Л.В. Вредоносность возбудителя мучнистой росы дуба черешчатого и возможности её ограничения // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: Материалы XI международной конференции, Петрозаводск, 10–14 октября 2022 года. – Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук, 2022. – С. 114-115.

9. Томошевич М. А. Формирование патоккомплексов древесных растений при интродукции в Сибири: специальность 03.02.08 "Экология (по отраслям)": диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Томошевич Мария Анатольевна, 2015. – 462 с.

10. Емельянова О. Ю., Цой М. Ф., Масалова Л. И. Фенологические наблюдения как основа формирования базы данных феноспектров древесных растений // Овощи России. – 2020. – № 6. – С. 77-84. DOI 10.18619/2072-9146-2020-6-77-84.

11. Popova A.A., Karpechenko I.Yu., Tolbina I.A., Syromyatnikov M.Yu. Molecular identification of phytopathogenic fungi of forestforming species in the Central Black soil region: English oak (*Quercus robur* L.) and scots pine (*Pinus sylvestris* L.). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 392: 012018. (International scientific and practical conference "Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions" (Forestry-2019). DOI: 10.1088/1755-1315/392/1/012018]

12. Tsaralunga V., Tsaralunga A., Yakovenko N., Gridnev Yu. The Impact of the Intensity of Selective Sanitary Cutting in Oak Forests on the Defeat of the Pedunculated Oak (*Quercus Robur* L.) Trees by Powdery Mildew. Forestry – 2021. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021; 875, art. 012050. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012050.

13. Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата// Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. -Вып. 20.- С. 165 – 177.

14. Попова А.А., Попова В.Т. Распространение мучнистой росы в городских и пригородных насаждениях дуба черешчатого *Quercus robur* L. (Fagaceae) в Воронеже // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О.А. Катаева): Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 24-27 ноября 2020 года / Под редакцией Д.Л. Мусолина, Н.И. Кириченко и А.В. Селиховкина. - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2020. – С. 265-266.

15. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020621470 Российская Федерация. "Научно-прикладной справочник "Климат России": № 2020620899: заявл. 09.06.2020: опубли. 18.08.2020 / В. Н. Разуваев, О. Н. Булыгина, Н. Н. Коршунова [и др.]; заявитель федеральное государственное бюджетное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - Мировой центр данных".

16. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Научное издание, 2022. – 124 с.

### References

1. Kolmukidi S.V. *Muchnistaya rosa duba v zashchitnykh lesnykh nasazhdeniyakh Volgogradskoi oblasti* [Powdery mildew of oak in protective forest plantations of the Volgograd region]. *Prirodnye sistemy i resursy*= Natural systems and resources. 2023; 13 (3): 5-14. DOI 10.15688/nsr.jvolsu.2023.3.1. (In Russ.)

2. Glawe D. A. The powdery mildews: a review of the world's most familiar (yet poorly known) plant pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 2008; 46(1): 27-51.

3. Hewitt H.G., Ayres P.G. Effect of infection by *Microsphaera alphitoides* (powdery mildew) on carbohydrate levels and translocation in seedlings of *Quercus robur*. *New Phytologist.* 1976; 77(2): 379-390.

4. Hajji M., Dreyer E., Marçais B. (2009). *Impact of Erysiphe alphitoides on transpiration and photosynthesis in Quercus robur leaves.* *European Journal of Plant Pathology*, 125, pp. 63-72.

3. Hewitt H. G., Ayres P.G. Effect of infection by *Microsphaera alphitoides* (powdery mildew) on carbohydrate levels and translocation in seedlings of *Quercus robur*. *New Phytologist.* 1976; 77(2): 379-390.

4. Hajji M., Dreyer E., Marçais B. Impact of *Erysiphe alphitoides* on transpiration and photosynthesis in *Quercus robur* leaves. *European Journal of Plant Pathology.* 2009; 125:63-72.

5. Marçais B., Desprez-Loustau M. L. European oak powdery mildew: impact on trees, effects of environmental factors, and potential effects of climate change. *Annals of Forest Science*. 2014; 71:633-642.
6. Copolovici L., Väärtnõu F., Estrada V.P., Niinemets U. Oak powdery mildew (*Erysiphe alphitoides*)-induced volatile emissions scale with the degree of infection in *Quercus robur*. *Tree Physiology*. 2014; 34 (12): 1399–1410. DOI: 10.1093/treephys/tpu091.
7. Levitin M.M. Rasprostranenie boleznej rastenij v usloviyah global'nogo izmeneniya klimata. Sel'skokozyajstvennye nauki i agropromyshlennyj kompleks na rubezhe vekov. [The spread of plant diseases in the context of global climate change]. *Agricultural sciences and the agro-industrial complex at the turn of the century*. 2016; 13: 97-101. (In Russ.)
8. Shirnina L.V. Harmfulness of the causative agent of powdery mildew of oak and the possibility of its limitation. *Problems of forest phytopathology and mycology: Proceedings of the XI International Conference*, Petrozavodsk, October 10-14, 2022. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2022. pp. 114-115. (In Russ.)
9. Tomashevich M. A. Formation of pathocomplexes of woody plants during introduction in Siberia: specialty 02/03/08 "Ecology (by industry)": dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences / Tomoshevich Maria Anatolyevna, 2015. 462 p. (in Russ.)
10. Yemelyanova O. Yu., Tsoi M. F., Maslova L. I. Phenological observations as the basis for the formation of a database of tree plant phenospectres. *Vegetables of Russia*. 2020; 6: 77-84. DOI 10.18619/2072-9146-2020-6-77-84. (In Russ.)
11. Popova A.A., Karpechenko I.Yu., Tolbina I.A., Syromyatnikov M.Yu. Molecular identification of phytopathogenic fungi of forestforming species in the Central Black soil region: English oak (*Quercus robur* L.) and scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;392: 012018. (International scientific and practical conference "Forest Ecosystems as Global Resource of the Biosphere: Calls, Threats, Solutions" (Forestry-2019). DOI: 10.1088/1755-1315/392/1/012018
12. Tsaralunga V., Tsaralunga A., Yakovenko N., Gridnev Yu. The Impact of the Intensity of Selective Sanitary Cutting in Oak Forests on the Defeat of the Pedunculated Oak (*Quercus Robur* L.) Trees by Powdery Mildew. *Forestry – 2021. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 875, art. 012050. DOI: 10.1088/1755-1315/875/1/012050.
13. Selyaninov G.T. On the agricultural evaluation of climate. *The Works of the Agricultural Meteorology*. 1928; 20:165-177. (In Russ.)
14. Popova A.A., Popova V.T. *Rasprostranenie muchnistoi rosy v gorodskikh i prigorodnykh nasazhdeniyakh duba chereshchatogo Quercus robur L. (Fagaceae) v Voronezhe* [Distribution of powdery mildew in urban and suburban stands of petiolate oak *Quercus robur* L. (Fagaceae) in Voronezh]. Dendrobiont invertebrates and fungi and their role in forest ecosystems (XI Readings in memory of O.A. Kataev): Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation, St. Petersburg, November 24-27, 2020 / Ed. by D.L. Musolin, N.I. Kirichenko and A.V. Selikhovkin. St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, 2020: 265-266. (In Russ.)
15. Certificate of State registration of the database No. 2020621470 Russian Federation. "Scientific and applied reference book "Climate of Russia": No. 2020620899: application. 06/09/2020: published. 08/18/2020 / V. N. Razuvaev, O. N. Bulygina, N. N. Korshunova [et al.]; applicant Federal State Budgetary Institution "All-Russian Scientific Research Institute of Hydrometeorological Information - World Data Center" (in Russ.)
16. The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary. St. Petersburg: Science–intensive Technologies, 2022. 124 p. (in Russ.)

## **Естественные науки и лес**

### **Сведения об авторах**

✉ *Серебряков Олег Владимирович* – аспирант кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1171-0368>, e-mail: o-ser00@mail.ru.

*Турчанинова Елена Викторовна* – старший преподаватель кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1800-240X>, e-mail: misstur@yandex.ru.

*Харченко Николай Николаевич* – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии, защиты леса и лесного охотоведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7645-2642>, e-mail: forest.vrn@gmail.com.

### **Information about the authors**

✉ *Oleg V. Serebryakov* – Postgraduate Student of the Department of Ecology, Forest Protection and Forestry, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1171-0368>, e-mail: o-ser00@mail.ru.

*Elena V. Turchaninova* – Senior Lecturer at the Department of Ecology, Forest Protection and Forestry, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1800-240X>, e-mail: misstur@yandex.ru.

*Nikolay N. Kharchenko* – Dr. Sci. (Bio.), Professor, Head of the Department of Ecology, Forest Protection and Forest Hunting, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7645-2642>, e-mail: forest.vrn@gmail.com.

✉ - Для контактов/Corresponding