



ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ОТ КОРНЕВОЙ ГУБКИ (*HETEROBASIDION ANNOSUM (FR.) BREF.*)

Игорь В. Лыков¹ ✉, likovigorw@yandex.ru.

Павел А. Максимчук¹, maximchuck.pasha@yandex.ru.

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

Представлены результаты обзора и анализа различных методик борьбы с корневой губкой за XX–XXI век. Приводятся данные по поиску и подбору рукописных и электронных библиографических источников, используемых в обзоре. Кратко описывается патоген *Heterobasidion annosum (fr.) Bref.* – корневая губка: его характеристика, свойства и распространение. Проводится описание и оценка эффективности и целесообразности использования существующих на данный момент лесоводственных (в их числе и химические) и биологических методов по предотвращению развития и распространения, а также уничтожения *Heterobasidion annosum (Fr.) Bref.* Установлено, что действующие в настоящее время лесоводственные методы малоэффективны или вообще не приносят требуемых результатов, о чём говорит текущее состояние развития корневой губки в сосновых насаждениях. Многие из описанных методик являются либо трудноосуществимыми на больших площадях, либо являются экономически невыгодными, что делает их практически бесполезными в борьбе с таким опасным патогеном, как корневая губка. Предпочтение стоит отдавать более углубленному изучению биологической защиты, а также некоторых действенных лесоводственных методик (например, опыты С.А. Казадаева).

Ключевые слова: корневая губка, сосна, фитопатология, санитарно-оздоровительные мероприятия, патоген, защита леса

Благодарности: выражаем благодарность доктору биологических наук Н.Н. Харченко и доктору биологических наук профессору С.М. Матвееву, консультировавшим работу и оказавшим помощь в подборе литературы для исследований.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лыков, И. В. Обзор современного состояния и эффективности мероприятий по защите сосновых насаждений от корневой губки (*Heterobasidion annosum (Fr.) Bref.*) / И. В. Лыков, П. А. Максимчук // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 3 (43). – С. 63–73. – Библиогр.: с. 68–73 (44 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/5>.

Поступила: 15.04.2021 **Принята к публикации:** 07.09.2021 **Опубликована онлайн:** 01.10.2021

REVIEW OF THE CURRENT STATE AND EFFECTIVENESS OF MEASURES TO PROTECT PLANTINGS FROM ROOT SPONGES (*HETEROBASIDION ANNOSUM* (FR.) BREF.)

Igor V. Lykov¹ ✉, likovigorw@yandex.ru.

Pavel A. Maksimchuk¹, maximchuck.pasha@yandex.ru.

¹FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

Abstract

The results of a review and analysis of various methods of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. for the XX - XXI centuries are presented. Data on the search and selection of handwritten and electronic bibliographic sources used in the review were provided. The pathogen of *Heterobasidion annosum* (fr.) Bref. is described: its characteristics, properties and distribution. A description and assessment of the effectiveness and feasibility of using the currently existing silvicultural (including chemical) and biological methods to prevent the development and spread, as well as the destruction of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. were given. It has been established that the current silvicultural methods are ineffective or do not bring the required results at all, as it is evidenced by the current state of development of the root sponge in pine plantations. Many of the described techniques are either difficult to implement over large areas, or are economically unprofitable, which makes them practically useless in the fight against such a dangerous pathogen as *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. Preference should be given to a more in-depth study of biological protection, as well as some effective silvicultural techniques (for example, the experiments of S. A. Kazadaev).

Keywords: *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., pine, phytopathology, sanitary measures, pathogen, forest protection

Acknowledgments: We express our gratitude to Doctor of Biological Sciences N.N. Kharchenko and Doctor of Biological Sciences, Professor S.M. Matveev, who advised the work and assisted in the selection of literature for research.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Lykov I.V., Maksimchuk P.A. (2021) Review of the current state and effectiveness of measures to protect plantings from root sponges (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.). *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 11, No. 3 (43), pp. 63-73 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/5>.

Received: 15.04.2021 **Accepted for publication:** 07.09.2021 **Published online:** 01.10.2021

Введение

За последние столетия интенсивность использования лесов сильно возросла. Рубки спелого леса стали неотъемлемой частью лесного хозяйства. Но с ростом интенсивности лесопользования возник вопрос о возобновлении лесных ресурсов. Поскольку посредством естественного возобновления зачастую древостой формируется с другим составом, отличным от первоначального (часто неже-

лательными породами), то всё чаще леса восстанавливаются искусственным путём. Искусственное лесовосстановление позволяет сформировать насаждение с желаемыми составом и характеристиками. Но в свою очередь, искусственное лесовосстановление несёт в себе и ряд негативных последствий. На примере сосны обыкновенной это: увеличение пожарной опасности (особенно в чистых молодняках); общее снижение устойчивости, связанное с

тем, что в одновозрастном насаждении деревья находятся в постоянной конкуренции [1, 15, 26]; поражение болезнями и вредителями, и одно из самых негативных последствий искусственного возобновления на сегодняшний день – это поражение корневой губкой [21].

Цель работы – изучение и анализ эффективности методов борьбы с корневой губкой (*Heterobasidion annosum* (fr.) Bref.).

Материалы и методы

Изучены научные материалы эмпирических и теоретических исследований в области фитопатологии в общем и борьбы с корневой губкой (*Heterobasidion annosum* (fr.) Bref.) в частности. Для анализа эффективности методик по борьбе с патогеном изучены различные научные труды, посвящённые корневой губке, за XX-XXI век. За основу брались работы как отечественных авторов, так и зарубежных. Поиск литературы проводился в различных библиографических источниках. Использовалась рукописная библиография и электронная. Поиск электронной литературы осуществлялся в различных источниках, начиная с ЭБС eLIBRARY и заканчивая такими крупными проектами, как Scopus и Web of Science.

Результаты и обсуждения

Характеристика и свойства патогена.

Корневая губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) – крайне опасный возбудитель грибных заболеваний сосны, который вызывает загнивание корней и последующее отмирание заражённых деревьев. *Heterobasidion annosum* (Fr.)Bref. известна человечеству ещё с конца XIX века, но внимание лесоводов привлекла только в 30-х годах XX века, а активно стала изучаться с 50-х годов [2, 7, 12, 31].

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. относится к полусапрофитам, так как субстратом для неё может быть лесная подстилка с лесным опадом (мёртвые сучья, мелкие опавшие части кроны, погибшие стволы) и живые корни дерева. На подстилке, которая состоит из опавшей хвои, плодовые тела не были обнаружены. Принято считать, что основное распространение и, соответственно, дальнейшее заражение осуществляется как базидиоспорами, так и конидиями [23, 39].

Но стоит сказать, что всё же первичное заражение происходит в основном базидиоспорами. Они, попав на участок с благоприятными условиями, прорастают на лесном опаде и начинают формировать скопление мицелия. После заражения и появления гнили у корневой губки начинается процесс образования плодового тела, которое в вегетационный период способно продуцировать более 2 млрд спор [17].

Такая продуктивность спор способна обеспечить быстрое распространение базидиоспор, что приводит к образованию куртин (второй этап формирования очага) [23].

А.М. Анкудиновым была выдвинута гипотеза о том, что источник заражения корневых систем корневой губкой – это почва, которая была заражена в пределах гумусового слоя, где изначально патоген развивался на растительных остатках, находящихся в лесной подстилке [3]. Эту идею поддерживают многие авторы.

Образующийся мицелий продуцирует в довольно больших объёмах конидиоспоры. Ряд учёных-лесоводов полагают, что конидиоспоры являются главным элементом в проникновении в корнеобразующий слой с дальнейшим заражением корневой системы [17, 23, 33]. Из этого возникает вопрос в достоверности распространённого, но не подтверждённого экспериментально мнения о том, что заражение происходит посредством контакта поражённых и здоровых корневых систем [23].

Некоторые авторы считают, что немаловажную роль в распространении патогена играют насекомые [4, 9, 20]. Однако это лишь предположения, не подкреплённые достаточным количеством эмпирических данных [24, 35].

Оценка лесоводственных мер по борьбе с патогеном. О способах борьбы с корневой губкой задумались ещё в конце XIX века.

Предложенная Р. Гартигом [11] мера по локализации очагов заключалась в окапывании их канавами. Данная методика испытывалась и отечественными учёными: А. Бирнбаумом [6], И. Беляевым [5] и А.М. Анкудиновым [3]. К сожалению, работы Бирнбаума и Беляева были забыты, вследствие чего не удалось оценить эффективность этого мероприятия.

Лишь в 1954 году С.А. Казадаеву [13], на основе материалов заложенных опытов И.А. Беляева [5], удалось провести оценку состояния опытных очагов, на одном из которых помимо окапывания была проведена уборка всех деревьев вместе с корнями. Исследования показали, что даже спустя более десяти лет на обоих участках можно заметить, что процесс течения болезни замедлился, площадь опытного очага, на котором были удалены деревья с корнями, почти в три раза меньше по сравнению с расположенными поблизости тремя контрольными очагами. Автор полагает, что существенное воздействие на скорость течения болезни оказано не столько окопкой, сколько изменением микроклиматической обстановки и условий жизни патогена. Тем не менее, даже при достаточной эффективности из-за огромной трудоёмкости данные меры не смогут найти применения на больших площадях [13].

По рекомендации И.Я. Шемякина [31] С.А. Казадаевым было решено провести мероприятие по сгребанию и ворошению лесной подстилки. Предполагалось, что эти действия нарушат нормальные условия гриба, что замедлит распространение болезни. Опыт по ворошению подстилки дал отрицательный результат, течение заболевания только усилилось. Автор считает, что это связано с улучшением воздушного режима в подстилке, в результате чего активность патогена увеличивается.

Опыт по сгребанию подстилки показал значительное снижение активности корневой губки. Отмечается снижение интенсивности отмирания деревьев, а также наблюдается противодействие возникновению новых очагов. Автор отдаёт предпочтение сгребанию подстилки с образованием валиков, располагая их в междурядьях. Этот опыт является довольно эффективным профилактическим мероприятием, которое заслуживает более широкого производственного испытания [13].

В 1975 году И. Ришбетом была предложена идея обрабатывания пней химическими веществами [45]. Это, по его мнению, остановило бы распространение патогена, который посредством проникновения спор в свежие срезы пней, дальнейшего образования мицелия с последующим проникнове-

нием в древесину корней через корневые контакты распространяется на здоровые деревья. И хотя эта мера попала в инструкцию 1979 года и интенсивно использовалась на практике, тем не менее, она не дала никаких ощутимых результатов [27-31].

О сомнительной перспективе данной методики говорит ещё тот факт, что в результате опытов по искусственному заражению выявлено следующее: распространение гнили наиболее быстро проходит от корней в сторону ствола, а не наоборот [17, 18].

Химические методы борьбы с распространением заражения (опрыскивание насаждений и обработка пней) с технической стороны оказались довольно трудоёмкими и экономически невыгодными [14, 27, 43]. Использование фунгицидов осуществляется при предпосадочной обработке почвы и корней, а также при опрыскивании подроста сосны и почвы в очагах заболевания. Данное мероприятие оказывает положительный эффект только в начальный этап роста сосны [7, 12, 22].

За границей активно внедряются химические и биологические методы защиты пней после рубок ухода [2, 7, 12, 17, 34, 35, 43]. И всё же для более эффективной борьбы с заболеванием целесообразней проводить мероприятия, которые воздействовали бы и на опад, и на лесную подстилку, а не только на пни. Это бы избавило от необходимости корчевания пней и сгребания подстилки [24, 41].

Ещё один метод борьбы с корневой губкой – санитарные рубки – оказался малоэффективным. Опыт локализации очагов на начальных этапах развития патогена показал отрицательные результаты. Тяжесть заболевания лишь усиливалась за счёт появления новых плодовых тел на ослабленных, вышедших на освещённую площадь корнях [4, 7]. Кроме того, санитарные рубки в очагах корневой губки наносят немалый экономический ущерб лесному хозяйству, так как в ещё здоровой части пораженных болезнью насаждений сырораствующая древесина высокого качества в результате проведения этих рубок превращается в сухостой. Причиной этому является то, что патоген продолжает обитать в почве и после проведения мероприятия начинает активнее действовать, заражая уже здоровую часть поражённого насаждения [8].

В результате образования нового сухостоя, в соответствии с действующими нормативными документами, проводится очередной приём санитарной рубки, в результате которого вырубаются погибшие, усыхающие и сильно ослабленные деревья. И так продолжается до тех пор, пока всё насаждение выдела, пораженного патогеном, не погибнет и, в виде сухостоя, не будет удалено [8].

Многие авторы придерживаются мнения, что удаление погибших деревьев и корчевка пней после санитарных рубок может ограничить распространение болезни [2, 17, 22, 37]. Но данные меры оказывают слабое воздействие на распространение корневой губки, так как в течение длительного промежутка времени патоген сохраняется в почве [9, 20, 22].

Тем не менее, было бы неразумно не согласиться, что удаление погибших деревьев, корней и пней после рубок ослабляет тяжесть течения болезни, но не устраняет её полностью. Также стоит сказать, что даже случайно пропущенное или не полностью ликвидированное плодовое тело, которое способно быстро регенерировать и продуцировать колоссальное количество спор, может очень быстро восстановить показатели активности патогена, в результате чего использование этих мер может оказаться практически бессмысленным. К тому же данные мероприятия технологически сложные и экономически затратные, вследствие чего их осуществление на больших площадях окажется весьма проблематичным [22].

Также можно указать на такое профилактическое мероприятие, как бактериальное разрушение мёртвого опада, чего можно достичь путём внедрения листовых пород в начале формирования насаждения, но на обширных территориях для чистых насаждений это довольно затратно и почти неосуществимо.

И, хотя многие зарубежные и отечественные авторы продолжают исследования в области обнаружения, а также химической и лесоводственной борьбы с корневой губкой [1, 32, 33, 40, 41], тем не менее, на данный момент среди лесоводственных мер борьбы с патогенным грибом нет одновременно экономически и биологически эффективных методик. Об этом говорит и тот факт, что

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref продолжает свою активную деятельность. Из работ Н.А. Харченко и др. можно отметить, что в Воронежской области имеет место довольно интенсивное заражение насаждений, о чём свидетельствует распределение площадей очагов корневой губки по категориям в следующем соотношении: возникающие – 83,1 %, действующие – 12,1 %, затухающие – 4,8 % [22].

Оценка биологических мер по борьбе с патогеном. В последние годы интерес учёных всё больше обращён на биологические методы борьбы с корневой губкой. К сожалению, исследования, начатые во ВНИИЛМе, по ряду причин не были доведены до применения на практике [12]. Но, тем не менее, биологическая защита насаждений от корневой губки имеет огромный потенциал для исследований.

Так, например, в ряде зарубежных стран (Финляндия, Великобритания, страны Западной Европы и т.д.) для защиты от корневых гнилей уже активно применяются препараты, созданные на основе оидий базидиомицета *Phlebiopsis gigantea* (Fr.) Jülich. Этот гриб – один из самых распространённых в Европе дереворазрушающих сапротрофов, являющийся грибом-антагонистом для корневой губки [8, 37].

Исследования по производству подобных средств возобновляются и в странах СНГ. Так, например, на территории России одним из самых распространённых и активных антагонистов губки является триходерма – *Trichoderma viridae* Sp. Этот гриб является типичным сапрофитом, конидиальная стадия которого является наиболее активной стадией антагонизма. В этой стадии происходит выделение высокотоксичных антибиотиков, которые подавляют рост и размножение патогенов [8]. Кроме того, развитие у триходермы протекает быстрее, чем у корневой губки, и, независимо от патогенности последней, триходерма способна прекратить её рост, вплоть до полного подавления. Температура почвы является единственным фактором, который сдерживает развитие триходермы. При понижении температуры ниже 15° активность и развитие гриба снижается, из-за чего он вытесняется наиболее приспособленными к низким температурам сапротрофами [10]. Так как корневая губка

способна переносить низкие температуры [17], а триходерма нет, то в настоящее время для усиления деятельности последней её искусственно вносят в почву [10].

Использовать грибы-антагонисты и препараты на их основе рекомендуется также при проведении лесохозяйственных мероприятий. В некоторых странах Европы в насаждениях, где в результате хозяйственной деятельности очень высока вероятность развития заболевания, биообработка проводится в обязательном порядке [19].

Помимо грибов-антагонистов огромным потенциалом для исследований в области защиты от корневой губки обладает и ряд высших растений. Например, фитонциды лютика едкого, змееголовника, вербены, дуба красного и черёмухи обыкновенной подавляют рост мицелия *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. Также следует уделить внимание фунгицидным действиям тканевых соков амфоры кустарниковой, акации жёлтой, калины обыкновенной, рябины сибирской, тополя лавролистного и, в особенности, караганы древовидной, ивы козьей, бузины и чёрной смородины [7]. Известно, что в условиях корневой губки на Алтае подрост пихты сохраняется только вокруг кустарников смородины, караганы, бузины и ивы [16]. Также стоит упомянуть и цмин, который обладает

сильной фитонцидностью в отношении корневой губки.

Исследования в области биологической защиты насаждений от корневой губки проводятся и в настоящее время.

Заключение

За последние годы корневая губка стала настоящей катастрофой как с хозяйственной стороны, так и с экологической. Лесоводственные меры, описанные выше, оказались малоэффективными или трудноосуществимыми на больших площадях, о чём свидетельствует текущее (по данным Центра защиты леса <https://rcfh.ru>) состояние распространения корневой губки [25]. Стоит сказать, что метод сгребания лесной подстилки оказался эффективным мероприятием, которое требует дополнительных исследований (влияние сгребания на изменение рН, водно-солевого баланса почвы, газообмена и т.д.) с последующим внедрением в производственное использование.

Немалый интерес вызывают методы биологической защиты. И хотя некоторые из них уже используются на практике, исследования в этой области всё ещё имеют огромный научный потенциал, который, к сожалению, пока не реализован в полной мере.

Список литературы

1. Адамович И. Ю. Особенности микотрофности сеянцев *Pinus sylvestris* L. в насаждениях, поврежденных *Heterobasidion annosum* (fr.) Bref. Успехи современной науки. Белгород, 2017. С. 227-229. DOI: <http://dx.doi.org/10.17076/eco334>.
2. Алексеев И. А. Лесохозяйственные меры борьбы с корневой губкой. Москва : Лесн. пром-сть, 1969. 76 с.
3. Анкудинов, А. М., Власов А. А., Шафранская В. Н. Болезни сосны и дуба и борьба с ними в питомниках и культурах: сборник работ ; М-во лесного хоз-ва СССР, ВНИИ лесного хоз-ва. Москва ; Ленинград : Гослесбумиздат, 1951. 131 с.
4. Артюховский А. К. О роли насекомых в возникновении и развитии очагов корневой губки. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 1998;5: 33-37.
5. Беляев И. А. Корневая губка и меры борьбы с ней. Лесное хозяйство. 1939;6.
6. Бирнбаум А. Повреждение грибом *Polyporus annosus* (корневой губкой) сосновых насаждений урочища Червоный бор, Червоноборского лесничества, Ломжинской губернии. Лесной журнал. 1914;3.
7. Василюкас А. П. Корневая губка и устойчивость экосистем хвойных лесов. Вильнюс : Мокслас, 1989. 175 с.

8. Высоцкий А. А., Корчагин О. М. Корневая губка в насаждениях сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris* L.). Проблемы и пути решения. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018;224: 176-192. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36172850>.
9. Воронцов А. И. Патология леса. Москва, 1978. 267 с.
10. Высоцкий А. А., Нечаева М. Ю. Рекомендации по применению штаммов грибов-антагонистов корневой губки для инокуляции посадочного материала сосны обыкновенной в питомниках. Воронеж, 2010. 48 с.
11. Гартиг Р. Болезни деревьев. 1894.
12. Гундаева Е. И. Эффективность биологических и химических мер профилактики борьбы с корневой губкой. Надзор за вредителями и болезнями леса и совершенствование мер борьбы с ними. Москва, 1981. С. 84-86.
13. Казадаев С. А. Защита леса от вредителей и болезней. Труды Воронежского заповедника, 1957. Вып. 7, с. 133-145.
14. Катичева Н. В. Значение химического и биологического методов в общей системе мер борьбы с корневой губкой в сосновых насаждениях. Защита леса от вредных насекомых и болезней. Москва, 1974. Т. 1. С. 70-73.
15. Комаровский П. О. Основы устойчивости культур сосны на дюнных всхолмлениях Бузулукского бора. Лесное хозяйство. 1953. № 1. С. 25-29.
16. Корневая губка: Поиски эффективных мер защиты хвойных насаждений от болезни. Харьков : Прапор, 1974.
17. Негруцкий С. Ф. Корневая губка. Москва : Агропромиздат, 1986. 196 с.
18. Новиков Н. А. Поражение еловых насаждений БССР корневой губкой, некоторые вопросы её биоэкологии и разработка мероприятий по борьбе с ней: автореф. дис. Минск, 1973. 23 с.
19. Романовская Т. В., Арашкова А. А., Тригубович А. М. (и др.) Скрининг изолятов *Phlebiopsis gigantea*, перспективных для создания биопрепарата против корневой губки. Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. науч. трудов. Минск, 2017. С. 92-103.
20. Семенкова И. Г. Обзор зарубежных исследований по корневой губке. Вопросы лесозащиты. М., 1963, т. 1, с. 128.
21. Тимофеев А. А., Литвинова Е. А., Голубев Д. В., Литовка Ю. А. К вопросу формирования устойчивости хвойных растений к корневому патогену *Heterobasidion annosum* s.s. (*fr.*) *Bref.* (*Brefeld*). Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Красноярск, 2021. С. 297-299.
22. Фёдоров Н. И., Ермак И. Т. Опыты работы по борьбе с корневой губкой в сосновых насаждениях Белорусской ССР. Защита леса от вредных насекомых и болезней: сб. науч. тр. Москва, 1971, т. 1, с.167-169.
23. Харченко Н. А., Харченко Н. Н., Анохин В. А. Биоэкологические особенности корневой губки. Проблемы повышения экологических функций леса. Воронеж, 2000. С. 95-127.
24. Харченко Н. А., Харченко Н. Н., Кузнецов И. В. Корневая губка и ее связь со структурой и развитием корневых систем сосны обыкновенной в условиях Центрального Черноземья. Воронеж, 2010. 126 с.
25. Центр защиты леса. Режим доступа: <https://rcfh.ru>.
26. Чардымов Н. П. Чистые сосновые культуры на дюнных песках Бузулукского бора. Бузулукский бор. Т. I. Москва : Гослесбумиздат, 1949. С. 143-212.
27. Черных А. Г. Изучение возможности использования химических реагентов в борьбе с корневой губкой. Лесоводство и агролесомелиорация: сб. науч. тр. Киев, 1975. Вып. 40. С. 48-52.
28. Черных А. Г. Сезонные колебания в рассеивании спор корневой губки. Защита леса от вредных насекомых и болезней. Москва, 1971, т. 3, с. 157-158.
29. Черных А. Г. Способы облесения сосновых вырубок с наличием инфекции корневой губки. Надзор за вредителями и болезнями леса и совершенствование мер борьбы с ними. Москва, 1981. С. 209-211.

30. Шемякин И. Я. Опыт борьбы с корневой губкой и направление дальнейших исследований. Вопросы лесозащиты. Москва, 1963. С. 139-140.
31. Arnerup J., Swedjemark G., Elfstrand M., Karlsson B., Stenlid, J. Variation in growth of *Heterobasidion parviporum* in a full-sib family of *Picea abies*. Scand. J. Forest Res. 25, 106–110 (2010). DOI: 10.1080/02827581003730799.
32. Berglund M. Infection and growth of *heterobasidion spp.* in *picea abies*: control by *phlebiopsis gigantea* stump treatment. Institute: Sveriges Lantbruksuniversitet (Sweden), 2005. 1 p.
33. Courtois H. Pathogen biology of *Fomes annosus*. Proceedings of the fifth international conference on Problems of Root and Butt Rot in Conifers. Munden, 1980. P. 43-45.
34. Dalman K., Olson A., Stenlid J. Evolutionary history of the conifer root rot fungus *Heterobasidion annosum* sensu lato. Mol. Ecol. 19, 4979–4993 (2010). DOI: 10.1111/j.1365-294X.2010.04873.x.
35. Gaitnieks T., Bruna L., Zaluma A. (et al.) Development of *heterobasidion spp.* Fruit bodies on decayed *picea abies*. Forest Ecology And Management, 2021. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118835.
36. Garbelotto M., Gonthier P. Biology, epidemiology, and control of *Heterobasidion* species worldwide. (eds. VanAlfen, N. K.) Ann Rev. Phytopathol. 51, 39-59 (2013). DOI: 10.1146 / annurev-phyto-082712-102225.
37. Hansson D. (et al.) Secondary metabolite comparison of the species within the *Heterobasidion annosum s.l.* complex. Phytochem. 108, 243–251 (2014). DOI: 10.1016/j.phytochem.2014.08.028
38. Yang Hu, Malin Elfstrand, Jan Stenlid (et al.) The conifer root rot pathogens *Heterobasidion irregulare* and *Heterobasidion occidentale* employ different strategies to infect Norway spruce. Scientific Reports, 2020. Article number: 5884 DOI: 10.1038/s41598-020-62521-x.
39. Liu J. (et al.) Characterization of *Heterobasidion occidentale* transcriptomes reveals candidate genes and DNA polymorphisms for virulence variations. Microbial. Biotechnol. 11, 537–550 (2018). DOI: 10.1111 / 1751-7915.13259.
40. Pitkänen T. P., Piri T., Lehtonen A., Peltoniemi M. Detecting structural changes induced by *Heterobasidion* root rot on Scots pines using terrestrial laser scanning. Forest Ecology and Management Volume 492. Helsinki, 2021. 10 p. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119239.
41. Knogge W. Fungal infection of plants. Plant Cell 8, 1711–1722 (1996).
42. Neilson E. H., Goodger J. Q. D., Woodrow I. E., Moller B. L. Plant chemical defense: at what cost? Trends in. Plant Sci. 18, 250–258 (2013). DOI: 10.1016 / j.tplants.2013.01.001.
43. Olson A. (et al.) Insight into trade-off between wood decay and parasitism from the genome of a fungal forest pathogen. New Phytologist 194, 1001–1013 (2012). DOI: 10.1111 / j.1469-8137.2012.04128.x
44. Rishbeth I. Stump inoculation: A. biological control of *Fomes annosus*. The American Phytopath. Soc. Minnesota, 1975. P. 158-162.

References

1. Adamovich I. Yu. Peculiarities of mycotrophicity of seedlings *Pinus sylvestris* l. In plantations damaged by *Heterobasidion annosum* (fr.) Bref. Advances in modern science. Belgorod, 2017. S. 227-229. DOI: <http://dx.doi.org/10.17076/eco334> (in Russian).
2. Alekseev I. A. Forestry measures to combat the root sponge. Moscow: Lesn. prom-st, 1969. 76 p. (in Russian)
3. Ankudinov A. M., Vlasov A. A., Shafranskaya V. N. Diseases of pine and oak and the fight against them in nurseries and cultures. Collection of works. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat, 1951. 131 p. (in Russian)
4. Artyukhovskiy A. K. On the role of insects in the origin and development of foci of the root sponge. News of higher educational institutions. Forest journal. 1998, No. 5. p. 33-37. (in Russian)
5. Belyaev I. A. Kornevaya sponge and measures to combat it. Forestry, No. 6, 1939. (in Russian)
6. Birnbaum A. Damage by fungus *Polyporus annosus* (root sponge) pine plantations, tracts bir Chervonyi, Chervonovershka forestry lomzhinsky province. Forest magazine, No. 3, 1914. (in Russian).
7. Vasiliauskas A. P. Root sponge and ecosystem sustainability coniferous forests. Vilnius: Mokslas, 1989. 175 p. (in Russian).
8. Vysotsky A. A., Korchagin O. M. Kornevaya sponge v nasazadeniyakh sosny obyknovvennoy (*Pinus sylvestris* L.). Problemy i puti resheniya [Problems and solutions. Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoi akademii. 2018. No. 224. pp. 176-192. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36172850>. (in Russian).
9. Vorontsov A. I. Pathology of the forest. Moscow, 1978. 267 p. (in Russian).
10. Vysotsky A. A., Nechaeva M. Yu. Recommendations for the use of strains of fungi-antagonists of the root sponge for inoculation of the planting material of scots pine in nurseries. Voronezh, 2010. 48 p. (in Russian).
11. Gartig R. Diseases of trees. 1894. (in Russian).
12. Gundaev E. I. The effectiveness of biological and chemical prevention of suppression of root sponge. Supervision of pests and forest diseases and improvement of measures to combat them. M., 1981, s. 84-86. (in Russian).
13. Kazadaev S. A. Protection of forests from pests and diseases. Proceedings of the Voronezh reserve, 1957. vol. 7, pp. 133-145 (in Russian).
14. Katichev N. I. The importance of the chemical and biological methods in the General system of measures to combat the root sponge in pine plantations. Protection of forests from pests and diseases. M., 1974, vol. 1. S. 70-73 (in Russian).
15. Komarovskiy P. O. Osnovy ustoychivosti kultury sosny na dunny vsholmneniyakh Buzulukskogo bora [Fundamentals of stability of pine crops on dune hills of Buzuluksky bor]. 1953. No. 1. pp. 25-29. (in Russian).
16. The root sponge: The search for effective measures to protect coniferous plantations from disease. Kharkiv: "Prapor", 1974. (in Russian).
17. Negrutskiy S. F. Kornevaya gubka [Root sponge]. Moscow: Agropromizdat, 1986. 196 p. (in Russian).
18. Novikov N. A. The defeat of spruce plantations of the BSSR by a root sponge, some questions of its bioecology and the development of measures to combat it. Autoref. dis. Minsk, 1973. 23 p. (in Russian).
19. Romanovskaya T. V., Arashkova A. A., Trigubovich A. M. (et al.) Screening of isolates of *Phlebiopsis gigantea* promising for the creation of a biopreparation against the root sponge. In: Microbial biotechnologies: fundamental and applied aspects. Collection of scientific papers. Minsk, 2017, pp. 92-103 (in Russian).
20. Semenkova I. G. Review of foreign studies on the root sponge. Questions of forest protection. M., 1963, vol. 1, p. 128 (in Russian).
21. Timofeev A. A., Litvinova E. A., Golubev D. V., Litovka Yu. A. On the formation of resistance of conifers to the root pathogen *Heterobasidion annosum* s.s. (fr.) Bref. (*Brefeld*). Forest and chemical complexes – problems and solutions. Krasnoyarsk, 2021, pp. 297-299 (in Russian).
22. Fedorov N. I., Ermak I. T. Work experiences to combat the root sponge in pine plantations of the Byelorussian SSR. Protection of forests from pests and diseases. Moscow, 1971, vol. 1. P. 167-169 (in Russian).

23. Kharchenko N. A., Kharchenko N. N., Anokhin V. A. Biological and ecological features of the root sponge. Problems of increasing ecological functions of forests. Voronezh, 2000, p. 95-127 (in Russian).
24. Kharchenko N. A., Kharchenko N. N., Kuznetsov I. V. Root sponge and its connection with the structure and development of root systems of Scots pine in the conditions of the Central Chernozem region. Voronezh, 2010. 126 p. (in Russian).
25. Forest Protection Center. URL: <https://rcfh.ru> (in Russian).
26. Chardymov N. P. Chistye osnovnye kultury na dunnykh peskakh Buzulukskogo bora. Vol. I. Moscow: Goslesbumizdat, 1949, pp. 143-212 (in Russian).
27. Chernykh A. G. Study of the potential use of chemical reagents in the fight against the root sponge. Forestry and agroforestry. Kiev, 1975. Vol. 40. S. 48-52 (in Russian).
28. Chernykh A. G. Seasonal variations in the dispersion of spores root sponges. Protection of forests from pests and diseases. Moscow, 1971, vol. 3, pp. 157-158 (in Russian).
29. Chernykh A. G. Methods of afforestation of pine felling with the presence of root sponge infection. Supervision of pests and diseases of the forest and improvement of measures to combat them. Moscow, 1981, pp. 209-211 (in Russian).
30. Shemyakin I. Ya. The experience of fighting the root sponge and the direction of further research. Voprosy lesozashchity. M., 1963, p. 139-140 (in Russian).
31. Arnerup J., Swedjemark G., Elfstrand M., Karlsson B., Stenlid, J. Variation in growth of *Heterobasidion parviporum* in a full-sib family of *Picea abies*. Scand. J. Forest Res. 25, 106–110 (2010). DOI: 10.1080/02827581003730799.
32. Berglund M. Infection and growth of *heterobasidion spp.* in *picea abies*: control by *phlebiopsis gigantea* stump treatment. Institute: Sveriges Lantbruksuniversitet (Sweden), 2005. 1 p.
33. Courtois H. Pathogen biology of *Fomes annosus*. Proceedings of the fifth international conference on Problems of Root and Butt Rot in Conifers. Munden, 1980. P. 43-45.
34. Dalman K., Olson A., Stenlid J. Evolutionary history of the conifer root rot fungus *Heterobasidion annosum* sensu lato. Mol. Ecol. 19, 4979–4993 (2010). DOI: 10.1111/j.1365-294X.2010.04873.x.
35. Gaitnieks T., Bruna L., Zaluma A. (et al.) Development of *heterobasidion spp.* Fruit bodies on decayed *picea abies*. Forest Ecology And Management, 2021. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118835.
36. Garbelotto M., Gonthier P. Biology, epidemiology, and control of *Heterobasidion* species worldwide. (eds. VanAlfen, N. K.) Ann Rev. Phytopathol. 51, 39-59 (2013). DOI: 10.1146 / annurev-phyto-082712-102225.
37. Hansson D. (et al.) Secondary metabolite comparison of the species within the *Heterobasidion annosum s.l.* complex. Phytochem. 108, 243–251 (2014). DOI: 10.1016/j.phytochem.2014.08.028
38. Yang Hu, Malin Elfstrand, Jan Stenlid (et al.) The conifer root rot pathogens *Heterobasidion irregulare* and *Heterobasidion occidentale* employ different strategies to infect Norway spruce. Scientific Reports, 2020. Article number: 5884 DOI: 10.1038/s41598-020-62521-x.
39. Liu J. (et al.) Characterization of *Heterobasidion occidentale* transcriptomes reveals candidate genes and DNA polymorphisms for virulence variations. Microbial. Biotechnol. 11, 537–550 (2018). DOI: 10.1111 / 1751-7915.13259.
40. Pitkänen T. P., Piri T., Lehtonen A., Peltoniemi M. Detecting structural changes induced by *Heterobasidion* root rot on Scots pines using terrestrial laser scanning. Forest Ecology and Management Volume 492. Helsinki, 2021. 10 p. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119239.
41. Knogge W. Fungal infection of plants. Plant Cell 8, 1711–1722 (1996).
42. Neilson E. H., Goodger J. Q. D., Woodrow I. E., Moller B. L. Plant chemical defense: at what cost? Trends in. Plant Sci. 18, 250–258 (2013). DOI: 10.1016 / j.tplants.2013.01.001.
43. Olson A. (et al.) Insight into trade-off between wood decay and parasitism from the genome of a fungal forest pathogen. New Phytologist 194, 1001–1013 (2012). DOI: 10.1111 / j.1469-8137.2012.04128.x.

44. Rishbeth I. Stump inoculation: A. biological control of *Fomes annosus*. The American Phytopath. Soc. Minnesota, 1975. P. 158-162.

Сведения об авторах

✉ *Лыков Игорь Викторович* – магистрант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: likovigorw@yandex.ru.

Максимчук Павел Андреевич – аспирант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: maximchuck.pasha@yandex.ru.

Information about the authors

✉ *Lykov Igor Victorovich* – undergraduate student, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: likovigorw@yandex.ru.

Maksimchuk Pavel Andreevich – postgraduate student, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: maximchuck.pasha@yandex.ru.

✉- Для контактов/Corresponding author