

Таким образом, по данным многолетних исследований было установлено, что в микоценозах хвойно-широколиственных лесов аскомицеты могут конкурировать как с представителями своего класса, так и с базидиомицетами. Выявлено, что эколого-трофические группы грибов, которые приурочены к определённому уровню кислотности древесины (pH) и формируют неравномерную во времени линейную структуру сукцессий смены микокомплексов. Вместе с этим, широкий спектр показанных стратегий позволяет предположить сложные связи с механическим строением и химическим составом древесины, как важнейшими условиями поселения деревообитающих грибов на субстрате.

Работа выполнена по теме НИР Государственного задания ВНИИЛМ на 2025-2028 года «№ 1-325 болезни хвои».

Литература

Boddy L, Hiscox J. 2016. Fungal ecology: principles and mechanisms of colonization and competition by saprotrophic fungi. *Microbiol Spectrum* 4(6): FUNK-0019-2016. PP. 116 doi:10.1128 /microbiolspec. FUNK-0019-2016.

Evolution of Fungi and Fungal-Like Organisms. Vol. XIV/ Ed. S. Pöggeler, J. Wöstemeyer. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. 366 p.

Hiscox, J., O'Leary J., Boddy L. Fungus wars: basidiomycete battles in wood decay// *Studies in Mycology*. 2018. Vol. 89. P. 117–124. DOI: 10.1016/j.simyco.2018.02.003

Niemelä, T. Suomen käävät – The polypores of Finland // *Norrinia*. 2016. Vol. 31. P. 1–430.

Zabel, R.A., Morrell J.J., Robinson S. *Wood Microbiology. Decay and Its Prevention*. London: ELSEVIER Academical Press, 2020. 556 P.

Благовещенская Е.Ю. Фитопатогенные микромицеты. М.: ЛЕНАНД, 2015. 240 с.

Жуков А.М., Гордиенко П.В. Научно-методическое пособие по диагностике грибных болезней лесных деревьев и кустарников. М: ВНИИЛМ, 2003. 123 с

Змитрович И. В. Определитель грибов России. Порядок афиллофоровые. Вып. 3. М.; СПб.: Тов-во науч. изданий КМК, 2008. 278 С.

Кураков А.В., Кокаева Л.Ю. Методы изучения разнообразия грибов в наземных и водных экосистемах. М.: Издательство Национальной академии микологии. 2023. 128 с.

Переведенцева, Л.Г. Определитель грибов (агарикоидные базидиомицеты). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 119 с.

Стороженко В.Г. Эволюционные принципы поведения дереворазрушающих грибов в лесных биогеоценозах. Тула: Гриф и К, 2014; 184 с.

Стороженко В.Г., Крутов В.И., Руоколайнен А.В., Коткова В.М., Бондарцева М.А. Атлас-определитель дереворазрушающих грибов Русской равнины. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014; 198 с.

МОЛЕКУЛЯРНО-ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВИДОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ГРИБОВ ИЗ РОДА *HETEROBASIDION* SPP., ИНФИЦИРУЮЩИХ ЕЛЬ ЕВРОПЕЙСКУЮ В БЕЛАРУСИ

Нестюк А.М.¹

¹Институт экспериментальной ботаники
им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси
antonina.nestyuk95@gmail.com

MOLECULAR-PHYTOPATHOLOGICAL APPROACH TO SPECIES IDENTIFICATION OF FUNGI FROM THE GENUS *HETEROBASIDION* SPP. INFECTING THE NORWAY SPRUCE IN BELARUS

Nestyuk A. M.¹

*The publication briefly describes the main stages of the implementation of species identification of fungi from the genus *Heterobasidion* spp. infecting European spruce in Belarus, using methods of phytopathology and molecular genetics. The main characteristics of the fruiting bodies of pine and spruce root fungi are described, and the main problems that arise in the species determination of these phytopathogenic fungi are identified.*

Ель европейская (*Picea abies* (L.) H.Karst.) является одной из главных лесообразующих пород на территории Беларуси. По состоянию на 01.01.2025 еловые насаждения занимают 9,2% лесопокрытой площади страны (Государственный лесной кадастр..., 2025). Наиболее распространенными возбудителями корневой гнили у хвойных пород деревьев северного, умеренного и бореального поясов являются грибы рода *Heterobasidion* spp.

В Беларуси, ель повреждается двумя видами корневой губки: сосновой (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) и еловой (*Heterobasidion parviporum* Niemelä & Korhonen). При этом, последний вид специализируется на ели и, как правило, не повреждает другие лесообразующие породы.

Плодовые тела корневой губки, появляются на пораженных деревьях ели относительно редко. Чаще заболевание можно выявить по наличию самой гнили в стволе и корнях, которая носит преимущественно скрытый характер (Н.И. Федоров, 2004)

К настоящему времени, видовая идентификация корневой губки основывалась на морфологическом анализе плодовых тел и проведении теста соматической совместимости моноспоровых культур *in vitro*, однако перекрывающиеся вариации затрудняли их достоверную идентификацию (Woodward, 1998). Самым быстрым и надежным способом идентификации различных групп комплекса *H. annosum sensu lato* в последнее время являлись методы молекулярно-генетического анализа: изучение полиморфизма ДНК, иммунологические исследования, изучение изоферментного и белкового полиморфизма.

Исходя из всего вышесказанного, целью данной работы являлся поиск оптимального подхода для точной видовой идентификации грибов рода *Heterobasidion* spp., являющихся возбудителями корневой и комлевой гнили ели европейской на территории Беларуси.

Экспериментальный материал корневой губки был собран в еловых насаждениях из 37 местоположений, находящихся в пределах 10 районов 5 геоботанических округов, трех геоботанических подзон Беларуси (И.Д. Юркевич, 1965). При сборе образцов предпочтение отдавалось хорошо развитым, без признаков разрушения насекомыми и механических повреждений плодовым телам корневой губки, в некоторых насаждениях производился отбор кернов из комлевой части ствола ели европейской.

Первоначальная видовая идентификация плодовых тел образцов проводилась на основании визуальной оценки их морфологии согласно критериям, указанных в определителях, и сопровождалась инструментальными измерениями длины волосков на верхней стороне шляпки и диаметра пор гименофора (при помощи бинокулярного цифрового микроскопа Альтами БИО 2). Полученные данные сопоставлялись с

данными других исследователей (Woodward, 1998). В случаях, когда образцы были представлены высечками древесины ели европейской с признаками корневой гнили, проводилось выделение чистых культур гриба для последующей идентификации. На основании полученных результатов образцам корневой губки давалось предположительное определение вида.

На втором этапе осуществлялось выделение ДНК из микологических образцов и древесины с признаками корневой гнили. Для получения препарата нуклеиновых кислот из плодовых тел корневой губки отбиралась внутренняя стерильная часть трамы (3–10 мг). Для получения ДНК патогена из еловых кернов (с признаками корневой гнили) отбиралась переходная часть от здоровой до пораженной древесины (3–4 мм, 3–10 мг).

Получение препаратов ДНК из плодовых тел и высечек инфицированной корневой губкой древесины, а также грибного мицелия чистых культур проводилось с использованием модифицированного СТАВ-метода (Падутов, 2007). В качестве вспомогательных веществ экстрагирующего буфера при выделении нуклеиновых кислот из высечек инфицированной корневой гнилью древесины дополнительно использовали β -меркаптоэтанол.

Молекулярно-генетический анализ образцов корневой губки выполнялся на основании стандартных методик с использованием маркеров HetAllV3 и HetAllV4, представленных в ранее опубликованной работе (Нестюк, 2022). Электрофореграмма ПЦР-продуктов изолятов *Heterobasidion* spp. представлена на рисунке 1.

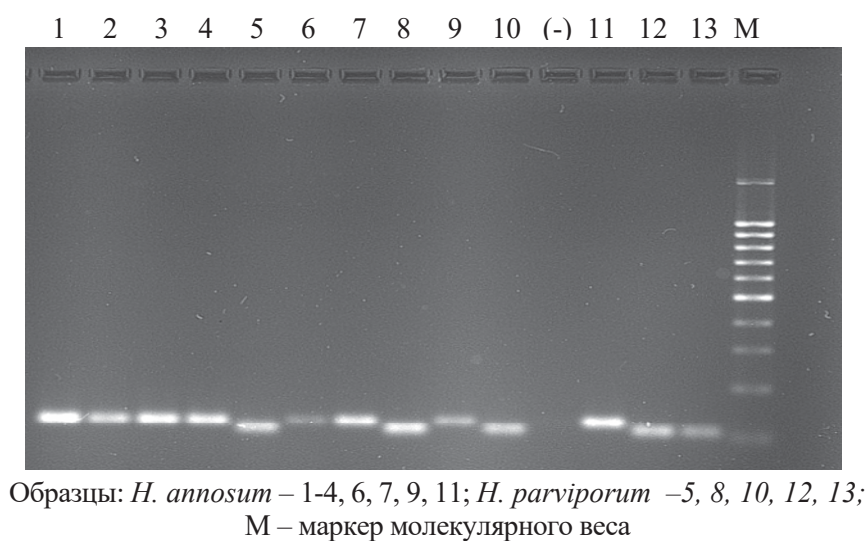


Рис. 1. Электрофореграмма ПЦР-продуктов изолятов *Heterobasidion* spp. (праймеры HetAllV3F и HetAllV3R)

При анализе чистой культуры образцов корневой губки на солодовом агаре явных диагностических различий не отмечалось, как и не было зарегистрировано отчетливых различий в микроскопических характеристиках мицелия данных образцов. Наблюдения были проведены для чистых культур, выделенных из образцов как плодовых тел, так и из кернов ели европейской.

Проведенная визуальная оценка плодовых тел не выявила существенных различий в цветовой гамме между базидиомами *H. annosum* и *H. parviporum*. Вместе с тем различия в степени опушения верхней стороны шляпки часто были заметны

даже невооруженным глазом или при помощи небольшого увеличительного стекла. Средняя длина волосков на поверхности базидиом *H. parviporum* превышала этот показатель для *H. annosum* (в 3,8 раза), в зарубежных исследованиях также отмечалось превышение, даже более значительное (в 5,7 раз). Размеры пор гименофора *H. parviporum* были значительно меньше, чем у *H. annosum*, что соответствовало данным других ученых (Woodward, 1998). Средний размер пор гименофора составлял для *H. parviporum* – 170-231 мкм, в то время как для *H. annosum* – 297-426 мкм, что в целом соответствовало данным белорусских ученых, полученными ранее (Федоров Н.И., 2004). В то же время у образцов наблюдалась достаточно сильная вариабельность их морфологических показателей, в частности, цвета, длины волосков опушения верхней поверхности шляпки, а также размера пор гименофора, исходя из чего четкое установление их видовой принадлежности требовало применения других методов идентификации. Так, использование молекулярно-генетического метода с применением sts-маркеров *HetAllV3F* и *HetAllV3R* позволило установить четкую видовую принадлежность образцов (рисунок 1), что было особенно важно при пограничных и перекрывающихся характеристиках плодовых тел корневой губки, или в случаях анализа инфицированной корневой гнилью древесины. Таким образом, наиболее качественное видовое определение грибов из рода *Heterobasidion*, возможно при сочетании фитопатологических и молекулярно-генетических методов.

Литература

Heterobasidion annosum. Biology, Ecology, Impact and Control / Edited by S. Woodward et al. Cambridge: CAB International Publ., 1998. 589 p.

Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2025 г. / Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. Лесоуправляющее республиканское унитарное предприятие «Белгослес». Минск, 2025.

Изучение полиморфизма STS-маркеров изолятов корневой губки, инфицирующих ель европейскую (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) в Беларуси / А. М. Нестюк [и др.] // Молекулярная и прикладная генетика: сборник научных трудов / Институт генетики и цитологии НАН Беларуси. – Минск: ИГиЦ НАНБ, 2022. – Т. 33. – С. 67-75.

Падутов В.Е. Методы молекулярно-генетического анализа / В.Е. Падутов, О.Ю. Баранов, Е.В. Воропаев. – Минск: Юнипол, 2007. – 176 с.

Федоров Н.И. Лесная фитопатология: учеб. для студ. специальности «Лесное хозяйство» / Н.И. Федоров. – Минск: БГТУ, 2004. – 462 с.

Юркевич И.Д. География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии / И.Д. Юркевич, В.С. Гельтман. – Минск: Наука и техника, 1965. – 286 с.

ИЗУЧЕНИЕ РЕДКИХ ВИДОВ ЛИШАЙНИКОВ ПРИОКСКОГО БОТАНИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНА ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Новоселова Е.А.¹, Светашева Т.Ю.¹, Мучник Е.Э.²

¹ТГПУ им. Л.Н. Толстого,
odonata02@mail.ru, foxtail_svelt@mail.ru

²Институт лесоведения РАН,
emuchnik@outlook.com