

В. Б. Левченко¹, М. С. Карпович¹, М. В. Ткаченко²

¹Малинський фаховий коледж, с. Гамарня, Житомирська область, Україна

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

ПАТОГЕНЕЗ HETEROBASIDION ANNOSUM (FR.) BREF. ТА МОНІТОРИНГ СИТЕВОЇ ГНИЛІ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В УМОВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

З'ясовано актуальні питання ураження насаджень сосни звичайної збудниками кореневої губки та ситевої гнилі в умовах лісгосподарських підприємств Київської та Житомирської областей. Проаналізовано опис біологічних та морфологічних особливостей збудників кореневої губки та ситевої гнилі, їх вірулентність та характер ураження соснових деревостанів в умовах Київського та Житомирського Полісся. В процесі проведення досліджень вивчено патологічні процеси збудників кореневої губки та ситевої гнилі. Особлива увага в статті була привернута морфологічним змінам збудника кореневої губки сосни звичайної, що набув масового розповсюдження на староорних землях в умовах Державних лісгосподарських підприємств Київського та Житомирського Полісся. Акцентована увага на синергетичну дію збудника кореневої губки сосни звичайної щодо патологічного процесу ситевої гнилі соснових деревостанів. Встановлено, що збудник кореневої губки сосни звичайної, а також ситевої гнилі уражують лісові насадження у віці 15–25 років. Доведено, що зміни кліматичних умов, потепління зимового періоду, зменшення кількості опадів протягом вегетаційного періоду, значно підсилюють інтенсивність патологічного процесу збудників кореневої губки та ситевої гнилі сосни звичайної, що є джерелом епіфітотії в умовах Центрального Полісся. Вивчено патологію збудників кореневої губки та ситевої гнилі сосни звичайної, а також вплив різних типів ґрунтів і змін кліматичних умов на поширення інфекції цих збудників в лісових едатопах Центрального Полісся. Встановлено, що основними методами проведення досліджень по вивченню патологічного процесу кореневої губки та ситевої гнилі сосни звичайної є розрахунково-аналітичний метод по збору й обробці результатів фітопатологічної експертизи соснових насаджень, проведення моніторингу впливу різних типів лісових ґрунтів на розповсюдження збудника кореневої губки та ситевої гнилі сосни звичайної, в лісових едатопах Центрального Полісся, а також проведення обстежень соснових деревостанів з визначенням характеру всихання в залежності від ступеня ураження збудниками кореневої губки й ситевої гнилі при змінах кліматичних показників.

Ключові слова: збудник, хвороба, ліс, губка, гниль.

¹Левченко Валерій Борисович, кандидат с.-г. наук, доцент, E-mail: waleriy07@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3638-1015>;

¹Карпович Марина Сергіївна, кандидат с.-г. наук, E-mail: marinakarpovich1990@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4159-5499> ;

²Ткаченко Марина Володимирівна, здобувач, E-mail: marina14tkachenko@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-1618-4831>.

Вступ. У структурі лісового фонду України переважає формація хвойних лісів, утворена сосною звичайною (*Pinus sylvestris* L.). Вона займає площу 4778,2 тис. га, що становить 50,3% вкритих лісом земель країни. Антропогенна трансформація лісових біогеоценозів на тлі різких кліматичних змін та збільшення інтенсивності та частоти екстремальних погодних явищ надає потужний негативний вплив на стан соснових насаджень в умовах Центрального Полісся України, і зокрема Київської та Житомирської областей. У ослаблених деревостонах активізуються патогенні організми, серед яких найбільшу поширеність і шкідливість мають збудники ситевої гнилі коренів – гриби з роду *Heterobasidion* (коренева губка). В Україні понад 75% загальної площі осередків хвороб та шкідників виявлено саме у соснових лісах, що уражені кореневою губкою. Тому виникає необхідність виявлення причин підвищення шкідливості кореневої гнилі на основі вивчення екологічних особливостей збудника кореневої гнилі сосни звичайної та ситевої гнилі в трансформованих господарською діяльністю насадженнях, визначення ефективності застосовуваних захисних заходів з метою обґрунтування шляхів їх удосконалення. Багато дослідників у комплексі заходів щодо зниження шкоди заподіяної кореневими гнилями, в тому числі кореневою губкою сосни звичайної та ситевою гниллю, підкреслюють важливість профілактики хвороби в експлуатаційних лісах з використанням біологічного методу [1]. Він полягає у спрямованій біоутилізації пеньків, як основного субстрату для розвитку патогену, шляхом їх обробки препаратами на основі гриба-антагоніста *Phlebiopsis gigantea* (Fr.) Jülich. Біологічний метод широко використовується для обмеження поширення та шкідливості корневих гнилей у хвойних насадженнях Західної Європи, показав високу ефективність [2]. Тому на сьогоднішній день актуальним завданням для лісового господарства України є відбір місцевих ізолятів *Ph. gigantea*, вивчення їх біологічних властивостей та скринінг високоактивних штамів з метою подальшої розробки вітчизняного біопрепарату на їх основі.

Матеріал і методи дослідження. Відомості про збудників кореневої гнилі сосни звичайної та ситевої гнилі соснових насаджень лісах України отримані в результаті аналізу повної бази даних вогнищ захворювань, складеної за результатами лісопатологічного моніторингу лісового фонду і включає відомості про 64 виділи. Видову приналежність збудника кореневої гнилі сосни визначали на основі морфологічних характеристик плодових тіл гриба та симптомів ураження насаджень, підтверджували за допомогою методів молекулярно-генетичного аналізу (В. Є. Падутов та ін., 2007). Для вивчення біологічних особливостей *H. annosum* та *Ph. gigantea* з відібраних у природі зразків плодових тіл і деревини були виділені чисті культури грибів (23 і 38 ізолятів) відповідно до загальноприйнятих методів (В. І. Білай, 1982).

Структуру локальних популяцій *Heterobasidion annosum* вивчали у шести діючих осередках всихання в чистих соснових лісових культурах різного віку. Генетичну різнорідність ізолятів визначали на основі аналізу вегетативної несумісності з використанням методу зустрічних культур (J. Stenlid, 1985).

Основні фізико-механічні властивості деревини патологічного відпаду сосни звичайної були визначені за діючими стандартами на 56 зразках деревини із застосуванням випробувальної машини MTS Insight 100, обробка даних виконана в програмі TestWorks 4. Втрати сортності та вартості деревини встановлювали на 5 розкряжованих та аналізу 18 модельних дерев за допомогою відбору деревини буром Преслера. Розрахунок економічної шкоди, заподіяної кореневою губкою, ситєвою гниллю проводили з використанням прийнятих у лісовому господарстві формул (М. М. Санкович, 2012), удосконалених нами з урахуванням специфіки ураження насаджень кореневою губкою. Скринінг активного штаму *Ph. gigantea*, перспективної розробки біологічного препарату, проводили із застосуванням загальновідомих методик (Полещук, 1997; Звягинцев, 2003). Ефективність сапрофітації деревини сосни звичайної штамами *Ph. gigantea* у природних умовах вивчали на 400 пеньках. Обробку пеньків суспензією оїдіоспор антагоніста в концентрації робочого розчину 107 спор/л проводили за допомогою ручного ранцевого оприскувача. Суспензію отримували шляхом змиву спор з чистих культур гриба, вирощеної у чашках Петрі на агаризованому поживному середовищі (мальтекстрактагар MEA A5789, 0500 виробництва AppliChem). Статистичну обробку експериментальних даних проводили на 5% рівні значимості за методикою Б. А. Доспехова (1985) з використанням Microsoft Excel.

Аналіз літературних джерел. Проблему корневих гнилей хвойних порід в умовах зони Центрального Полісся України, найбільш небезпечними збудниками яких є патогенні гриби роду *Heterobasidion*, досліджували багато вчених-фітопатологів протягом останніх двох століть. Вітчизняна і зарубіжна бібліографія налічує понад дві тисячі наукових праць, присвячених таксономії, біології, поширенню збудників ситєвої гнилі коренів та методів обмеження їх шкідливості. Дані питання широко висвітлені в роботах С. Ф. Негруцького (1973), І. А. Алексеєва (1974), С. В. Шевченка (1974), М. В. Давиденко (1986), В. Г. Стороженко (1983), А. П. Василяускаса (1989), Ю. Ф. Ареф'єва (2005), І. Н. Павлова (2008, 2012), Б. П. Чуракова (2013), К. Korhonen (1978, 2004), J. Stenlid (1985, 1998), М. Garbelotto (1999, 2010, 2013), Р. Gontheir (2003, 2012), Р. Łakomy (2003, 2007), Ф. О. Asiegbu (2005), 2., Z. Sierota (2001, 2015) та ін.

Значний внесок у вивчення поширеності та біоекологічних особливостей кореневої губки на території України внесли Н. І. Федоров (1970, 1984), І. Т. Єрмак (1971), Г. С. Снігерєв (1977), Ю. М. Полещук (1987, 1991), Ю. Л. Смоляк (1987), Є. С. Раптунович (1990), Н. Г. Дишук (1990) та ін. Виявили,

що в антропогенно-трансформованих лісах ефективним є біологічний метод профілактики та обмеження шкідливості кореневої губки, який широко використовується при веденні лісового господарства у хвойних насадженнях Західної Європи та Північної Америки (K. Korhonen, 2001; E. Pratt, 2000; H. Sun, 2011; K. Kenigvalde et al., 2015).

Коренева губка сосни звичайної (*Heterobasidion annosum*), на сьогоднішній день є досить патогенним захворюванням соснових лісостанів в зоні Центрального Полісся [15]. Встановлено визначальну роль кореневої губки сосни звичайної в процесі масового всихання соснових насаджень в умовах Державних лісгосподарських підприємств Київської та Житомирської областей. Осередки ураження сосни звичайної у віці 15–20 років формуються на більш легких ґрунтах з частково змитим і дефльованим гумусовим горизонтом в межах 10–12 см [16]. Встановлено, що продуктивні деревостани сосни звичайної ростуть без характерних ознак ураження кореневими хворобами на середніх або важких суглинках типів С₂–С₃, а також на важких ґрунтах в умовах С₃–D₃ з потужністю гумусового горизонту в межах 17–20 см [17]. Висока густина соснового деревостану і припинення радіального приросту у віці 15–25 років без активної диференціації та своєчасного відпаду веде до зниження стійкості деревостану щодо збудника кореневої губки та ситевої гнилі і провокує куртинне всихання [18]. В осередках всихання насаджень сосни звичайної внаслідок патологічної дії кореневої губки спостерігається суттєвий вплив недостачі опадів, що особливо проявляється в період активного росту (червень-липень) вище коефіцієнта варіації в межах ($r = 0,70$, $p < 0,01$), ніж в прилеглому непошкодженому деревостані, при нормальній їх кількості в межах ($r = 0,43$, $p < 0,05$). Зниження кількості опадів протягом ряду років при одночасному зростанні температури приземного шару повітря стало причиною зниження стійкості соснових насаджень до кореневої губки та ситевої гнилі і як наслідок, його загибель [19]. Коренева губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. S. Str.) та ситева гниль в умовах Центрального Полісся України відмічена на більш ніж 10 видах деревних лісоутворюючих порід рослин і вважається небезпечним збудником кореневої гнилі, особливо в насадженнях сосни, ялини, модрини звичайної. Ці збудники є досить поширеними в умовах зони Центрального Полісся України. [1]. Особливу небезпеку збудники кореневої губки і ситевої гнилі сосни звичайної проявляють на площах, що були виведені з під тривалого сільськогосподарського користування [20]. Більшою мірою, це проявляється на староорних землях з порушеною гранулометричною структурою ґрунту і сформованою на глибині 25–30 см плужною подошвою [21]. При досягненні кореневою системою сосни звичайної ущільненого горизонту, розвивається поверхнева коренева система, що створює в подальшому сприятливі умови для розвитку патогену [2]. При цьому сосновий деревостан стає більш чутливими до будь-яких кліматичних аномалій, і в першу чергу, до ґрунтової та атмосферної

посухи. При цьому значно знижується стійкість соснових насаджень до біотичного впливу інших патогенних хвороб. Навіть на рекультивованих територіях з відвалами пропромислового походження в останні десятиріччя зустрічається загибель деревостанів від збудника кореневої губки та ситевої гнилі. Цю закономірність спостерігали в Німеччині при проведенні лісомеліоративних робіт [3]. На сьогоднішній день запроваджено практичні рекомендації щодо обмеження створення культур сосни звичайної на землях, що раніше було виведено з-під сільськогосподарського користування [4, 11]. Умови зростання соснових деревостанів багато в чому є визначальними в розвитку збудника кореневої губки сосни звичайної, а також прояву її патологічних ознак [5, 12]. Для прикладу, в більшій мірі коренева губка та ситева гниль уражують соснові насадження у віці 25–30 років з ступенем патологічного процесу на деревостані в межах 35,0% [6, 13]. Далі в порядку зменшення патологічного процесу, варіабельність захворювання насаджень на кореневу губку та ситеву гниль знаходяться в такому динамічному ряді: 20% – ялинники, 12,5% – сосняки.

В лісах Центрального Полісся України на менш дренованих ділянках патологічний процес кореневої губки виявляється набагато менший, ніж на добре дренованих [7, 14]. В країнах Західної Європи для боротьби з масовим поширенням збудника кореневої губки сосни звичайної, а також ситевої гнилі в якості основи біологічних препаратів використовується гриб *Phlebiopsis gigantea*, який є конкурентом *Heterobasidion annosum* на деревині порубкових залишків і сприяє обмеженню його поширення. Аналіз літературних джерел показав, що, незважаючи на широку вивченість, проблема кореневої губки, ситевої гнилі сосни звичайної, як і раніше, залишається вкрай актуальною.

Результати дослідження. Поширеність кореневої губки та ситевої гнилі коренів у соснових насадженнях України протягом останніх 18 років продовжує залишатися досить високою: площа вогнищ щорічно становить від 114 до 152 тис. га, незважаючи на постійне збільшення обсягу проведених лісозахисних заходів. У 2021 р. сосняки, уражені кореневою губкою, виявлені на площі 133,0 тис. га, що склало 82,3% вогнищ усіх шкідників та хвороб у лісах країни.

Зустрічаються вогнища ситевої гнилі коренів у соснових насадженнях. Патогенність цього збудника зростає при просуванні з Півночі на Південь, і досягає найбільшого значення в лісах Центральної та Південної частин Полісся, зокрема: в Бородянському районі Київської області станом на 2021 рік було уражено 7,8% площі соснових лісів, Броварському районі – 7,1%, та 6,0% в Олевському районі Житомирської області. Максимальна кількість вогнищ кореневої губки характерна для лісів Овруцького, Народицького, Малинського, Коростенського районів Житомирської області. Сосняки Центральної та Північно-Західної частини Житомирської області більш стійкі до ураження

ситевою гниллю коренів, тому періодичність вогнищ хвороби становить відповідно 1,5 і 1,7%.

У загальній структурі уражених площ 81,4% вогнищ – діючі, 15,2% – загасаючі та 3,4% – що виникають. При цьому переважає (80,5%) слабкий ступінь зараженості, середній ступінь зараженості мають 18,0% вогнищ, сильний – 1,5%.

За допомогою молекулярно-генетичних методів ідентифікації було встановлено, що всі ізоляти, відібрані з вогнищ всихання сосни звичайної відносяться до виду *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. Це дозволило уточнити морфологічні ознаки плодових тіл гриба і симптоми розвитку хвороби, а також встановити, що масове куртинне всихання сосни в умовах Центрального Полісся України викликає лише один з двох представлених у Україні видів – *Heterobasidion annosum*.

Шкодочинність ситевої гнилі коренів сосни проявляється насамперед у зниженні продуктивності насаджень, викликаному зменшенням приросту уражених дерев, появою порожніх площ у вигляді прогалин (вікон) через куртинне всихання деревостану. Найбільше значення має зниження якості деревини, патологічного відпаду (сухостійних дерев та повалених дерев), який накопичується при формуванні вогнищ строкатої ситевої гнилі коренів сосни (Василяускас, 1989). В міру його біодеструкції відбуваються зміни фізико-механічних та експлуатаційних властивостей деревини (табл. 1).

В результаті проведених досліджень нами було встановлено, що щільність деревини статистично знижується вже через рік після початку процесу всихання соснового насадження, тоді як міцність починає знижуватись лише через 2 роки, торцева твердість – через 4 роки ($p < 0,03$).

Ми встановили, що після початку процесу всихання дерев сосни звичайної, відбуваються суттєві зміни якості деревини внаслідок розвитку різних вад деревини, таких як грибні забарвлення, заболонні гнилі, червоточини та тріщини від усушки.

У цьому спостерігається закономірність зниження виходу сортових лісоматеріалів зі збільшенням терміну давності всихання (рис. 1). Вже через 1 рік після всихання соснового деревостану відсутня деревина I сорту, знижується частка виходу деревини II сорту (на 40,9% порівняно зі здоровою, не ураженою деревиною), різко зростає вихід деревини III сорту (81,5% сортиментів), а також утворюється несортова деревина (14,8%)

Таблиця 1

**Фізико-механічні властивості деревини сосни звичайної в осередках
кореневої губки та ситсової гнилі (середнє за 2018-2021 роки)**

Санітарно-патологічний стан соснових насаджень (тривалість періоду всихання)	Щільність деревини, ρ_{12} , кг/м ³		Торцева статична твердість, Н/мм ²		Міцність на стискання вздовж волокон, МПа	
	фактична	відхилення здорової деревини \pm %	фактична	відхилення здорової деревини \pm %	фактична	відхилення здорової деревини \pm %
Без ознак ослаблення	465,9 \pm 21,1	0,0	34,2 \pm 1,5	0,0	41,8 \pm 2,6	0,0
Старий сухостій (1 року)	417,8 \pm 11,9	- 10,3	33,4 \pm 1,8	- 2,3	38,1 \pm 2,1	- 8,8
Старий сухостій (2 роки)	411,8 \pm 18,8	- 11,6	34,5 \pm 2,8	+0,9	35,7 \pm 3,0	- 14,6
Старий сухостій (3 роки)	408,9 \pm 12,4	- 12,2	32,8 \pm 2,2	- 4,1	33,3 \pm 2,1	- 20,3
Старий сухостій (4 роки)	378,6 \pm 7,0	- 18,7	31,2 \pm 1,2	- 8,8	33,1 \pm 1,5	-20,8
Старий сухостій (5 років)	360,8 \pm 13,7	- 22,6	29,5 \pm 2,1	- 13,7	25,8 \pm 2,8	- 38,3
Повалені дерева (2 роки)	337,9 \pm 12,3	- 27,5	22,6 \pm 2,1	- 33,9	23,6 \pm 2,1	- 43,5
Без ознак ослаблення	465,9 \pm 21,1	0,0	34,2 \pm 1,5	0,0	41,8 \pm 2,6	0,0
Старий сухостій (1 рік)	417,8 \pm 11,9	- 10,3	33,4 \pm 1,8	- 2,3	38,1 \pm 2,1	- 8,8
НІР ₀₀₅	1,21	1,14	1,20	1,23	1,26	1,47

Через 4 роки після усихання дерева, відбувається повна втрата ділових сортиментів.

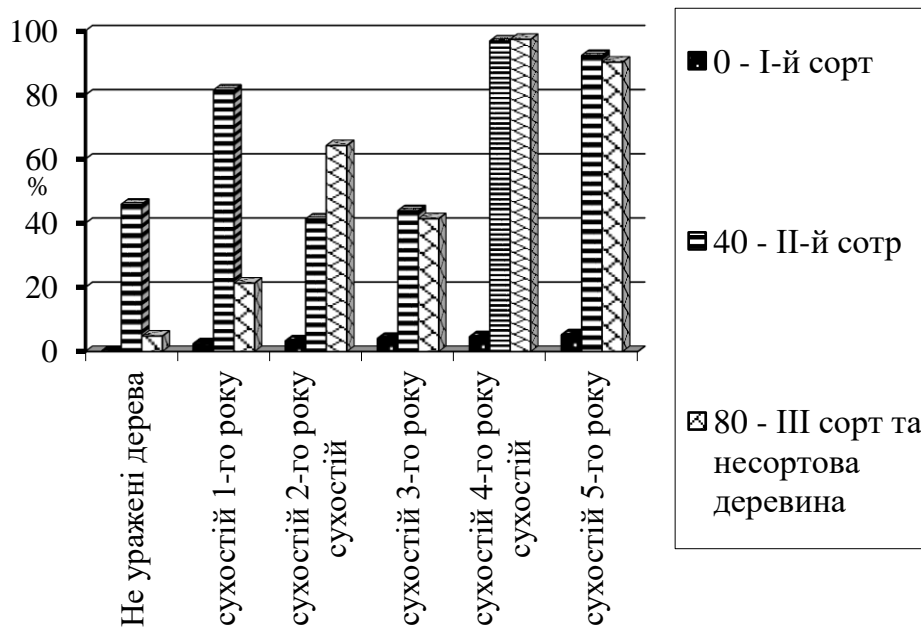


Рис. 1. Диференціація за сортами деревини патологічного відпаду сосни звичайної різного ступеню всихання в осередках кореневої губки та ситевої гнилі (середнє за 2018-2021 рр.)

В результаті зниження якості деревини, відбувається зменшення її вартості. В процесі проведення досліджень ми порахували, що за один рік після всихання вартість деревини патологічного відпаду знижується в середньому на 20,6%, через 2 роки – на 69,2%, через 3 роки – на 75,0%. При цьому найбільш інтенсивно процес зниження вартості деревини спостерігається при всиханні дерев у віці до 50 років. Дерева старшого віку з середнім діаметром 52–62 см повільніше втрачають якість сортиментів, що частково зумовлено збільшенням у процесі зростання обсягу стійкішої до біодеструкції ядрової деревини. Найбільших економічних збитків ситева гниль коренів завдає у сосняках Народицького та Овруцького лісогосподарських підприємств. Втрати за сильного ступеня зараження становлять 2,2 і 2,5 тис. грн./га на рік відповідно. В цілому на сьогоднішній день в розрізі лісокористувань Київського та Житомирського обласних управлінь лісового та мисливського господарств щорічний збитки, завдані кореневою губкою та ситевою гниллю сосновим насадженням, становить 21831,6 тис. грн. (у цінах станом на 01.10.2021) або 11,3 млн. дол. США (за курсом Національного банку України).

Під час проведення досліджень по вивченню біоекологічних особливостей розвитку *Heterobasidion annosum* в соснових лісах Центрального Полісся та територіях лісокористувань Київського та Житомирського обласного управлінь лісового та мисливського господарств нами було встановлено, що ситева гниль коренів соснових деревостанів досить часто уражає не тільки лісові культури, а й сосняки природного походження, які вважалися раніше стійкими в умовах

Центрального Полісся України (Федоров, 1984; Полещук, 1991). Від 15,0 до 40,7% вогнищ хвороби утворюється в насадженнях, сформованих природним шляхом (таблиця 2).

Таблиця 2

Площа вогнищ кореневої губки у соснових насадженнях природного походження (за результатами лісопатологічного моніторингу, 2018–2022 рр.)

Державне лісогосподарське підприємство	Загальна площа вогнищ кореневої губки і ситової гнилі, га.	В тому числі в насадженнях природного походження	
		га	%
ДП Боярське ЛГ	17748,8	6978,6	39,3
ДП Олевське ЛГ	39973,7	16284,6	40,7
ДП Народицьке ЛГ	18294,1	2744,7	15,0
НІР ₀₀₅	0,24	0,21	0,18

За результатами проведених досліджень нами було встановлено, що незалежно від походження насаджень велика частота прояву хвороби спостерігається в соснових лісах III класу віку. У різних лісорослинних районах уражено від 1,9 до 7,9% середньовікових сосняків, а в цілому по країні – 6,2%. У деяких лісогосподарських установах спостерігається надзвичайно висока ураженість строкатою ситовою гниллю коренів у насадженнях (IV клас віку), а саме: 13,6 і 13,3% у Олевському і Народицькому лісгоспах відповідно), яка в цілому по Житомирському ОУЛМГ – становить 2,7%. Дослідження, проведені ще М. І. Федоровим (1984) в 80-ті роки минулого століття, показали, що найбільші площі вогнищ фіксувалися в сосняках I–II класів віку. Очевидно, що за минулі 30 років ці молодняки перейшли до розряду середньовікових насаджень, зберігши низьку стійкість до хвороби.

Серед представлених у лісовому фонді Центрального Полісся типів лісу, частка уражених деревостоїв переважає в сосняках чорничникового (*Pinetum pteridiosum*) – (5,8%) і брусничникового (*Pinetum pleuroziosum*) типів – (4,8%). При цьому вірулентність та ареал хвороби неоднорідні по лісогосподарських підприємствах і лісорослинних районах: в Боярському, Народицькому, Олевському, Бородянському лісогосподарських підприємствах, вона вища в сосняках мохового типу, у той час як в інших – в сосняках чорничниково-мохового типу, він набагато менший. Стійкими до строкатої ситової гнилі коренів є сосняки чорничні (*Pinetum myrtillosum*). Незважаючи на широку поширеність даного типу лісу на території України (530443,9 га), уражено кореневою губкою та ситовою гниллю лише 0,3% його загальної площі. По мірі зростання ґрунтової родючості (відповідно до едафічної шкали П. С. Погребняка, 1968), а також при зміні гідротопу у бік збільшення або

зменшення вологості щодо свіжих умов місце поширення збудника ситєвої гнилі сосни звичайної зменшується.

На основі аналізу бази даних вогнищ ситєвої гнилі коренів сосни виділено 8 ступенів загрози ураження кореневою губкою штучних соснових деревостанів (загроза ураження відсутня, дуже низька, низька, нижча за середню, середня, висока, дуже висока, найвища). Найвища і дуже висока загроза ураження цими захворюваннями існує при створенні лісових культур на зрубках після суцільних санітарних рубок в осередках хвороби у всіх типах умов місцезростання. У сирих і мокрих умовах місцезростання загроза ураження кореневою губкою відсутня, оскільки вогнищеве ураження сосни не формується. Вивчення просторової структури локальних популяцій *Heterobasidion annosum* в куртинах всихання сосни звичайної дозволило встановити, що у великих діючих і затухаючих вогнищах кореневої губки в процесі всихання соснових деревостанів беруть участь кілька груп вегетативно сумісних ізолятів патогену, які охоплюють різні за розміром площі. У осередках, що виникають або мають невеликі розміри, виявлялась тільки одна група вегетативно сумісних ізолятів. Відомо, що у базидіальних макроміцетів, що утворюють індивідуальний довгоживучий міцелій, межі якого можна встановити молекулярними методами, виділяються індивідууми або особини як самостійно існуючі організми (Дьяков, 2012). Ізоляти однієї особини *Heterobasidion annosum* вегетативно сумісні, різних особин – несумісні (Stenlid, 1985; Ю. Т. Дьяков, 1995). Ізоляти особин *Heterobasidion annosum*, що ініціюють інфекційний процес (ініціюючі особини), володіють більш високим рівнем патогенності і дереворуйнівою активністю в порівнянні з ізолятами особин, що проникають у вже сформоване вогнище (вторинні особини), в середньому на 35,7 і 33, 6% відповідно ($p < 0,05$) (таблиця 3). Ініціюючі особи займають площу в середньому $67,7 \pm 23,9 \text{ м}^2$, колонізуючи $18,0 \pm 11,0$ корневих, тоді як вторинні мають набагато менші розміри: заселяють $2,32,3 \pm 1,2$ корневих систем і поширюються на площі $10,7 \pm 4,34 \text{ м}^2$.

Отже, у формуванні локального вогнища всихання бере участь одна особина *Heterobasidion annosum*, морфологічні властивості якої визначають успішне зараження насадження і подальше поширення по корневих системах деревостанів сосни звичайної. При цьому більшість особин збудника мають невисоку патогенність, про що свідчить, у тому числі, досить рідкісне формування нових куртин всихання в уражених насадженнях, незважаючи на велику кількість інфекції в повітрі (Н. І. Федоров, 1984) та ґрунті (М. Я. Острикова та ін., 2011).

Порівняльна характеристика ізолятів первинної та вторинної інфекції збудника *Heterobasidion annosum* з локальних вогнищ всихання сосни звичайної відібраних в лісогосподарських підприємствах Київського та Житомирського ОУЛМГ (середнє за 2018-2022 рр.)

Фітопатологічний показник	Ізоляти первинної інфекції	Ізоляти вторинної інфекції
Кількість інфікованих кореневих систем, шт.	18,0 ± 11,0	2,3 ± 1,2
Середня площа куртини всихання від прояву хвороби, м ²	67,7 ± 23,9	10,7 ± 4,3
Дереворуйнівна здатність, %	14,7 ± 0,8	11,0 ± 0,6
Патогенність, %	97,7 ± 2,1	71,8 ± 7,6
НІР ₀₀₅	0,18	0,21

По мірі проведення рубок догляду у насадженні, пеньки та кореневі системи заселяються вторинними шкідниками, які займають переважно центральну частину вогнища і завершують деструкцію мертвої деревини.

В результаті аналізу бази даних соснових насаджень, уражених кореневою губкою, було виявлено, що з метою оздоровлення сосняків у практиці лісового господарства Центрального Полісся України використовуються виключно рубки догляду: прорідження, прохідні рубки, прибирання захаращеності, вибіркові санітарні рубки. Вивчення ефективності цих заходів в уражених кореневою губкою сосняках було проведено шляхом порівняння термінів повторюваності, тобто середньої кількості років, через який стан деревостою вимагає проведення повторної рубки. Відмінності в повторюваності перерахованих вище заходів залежать від інтенсивності вибірки живого компонента деревостану. Вибірка дерев сосни звичайної з потенційно високою загрозою ураження кореневою губкою і вже заражених деревостанів, дозволяє попередити появу патологічного відпаду в насадженні на короткий термін (1–3 роки). Отже, проведені рубки догляду вирішують лише питання часткової мінімізації шкоди від вогнища всихання дерев сосни звичайної вибіркової ліквідної деревини, не впливаючи на поширення збудника захворювання. Навпаки, рубки догляду викликають появу в соснових насадженнях значної кількості поживного субстрату для розвитку патогена, таких як деревина пеньків і кореневих систем. У зв'язку з цим у комплексі заходів щодо обмеження шкодочинності кореневої губки, важливе місце має відводитись контролю інфекції на ділянках, пройдених рубками догляду. Одним з найбільш ефективних способів стримування поширення патогену, вважається заселення свіжозрубаних пеньків грибами-антагоністами. На основі аналізу поширення кореневої губки в сосняках були підібрані критерії

проведення обробки пеньків біопрепаратами при здійсненні лісогосподарських та санітарно-оздоровчих заходів (таблиця 4).

Таблиця 4

Лісогосподарські та санітарно-оздоровчі заходи у соснових насадженнях, що вимагають супутньої обробки пеньків (за результатами досліджень 2018–2021 рр.)

Вид заходу	Умови призначення обробки пеньків біоприпаратами
прибирання захаращеності	при вибірці не менше 20% фізіологічно-живої деревини (свіжий бурелом, вітровал, сніголам) від вирубаного запасу
вибіркові та суцільні санітарні рубки	постійно
прочистка, прорідження, прохідна рубка	при призначенні в рубку не менше 20% сосни від запасу, що вирубується

За результатами наших досліджень було встановлено, що найкращі показники в якості агента біологічного захисту, був відзначений у сапротрофний дереворуйнівний гриб *Phlebiopsis gigantea* (Fr.) Jülich, на основі якого розроблені та успішно застосовуються в країнах Західної Європи препарати Rotstop (Фінляндія), PG-Suspension (Великобританія). З метою скринінгу штамів *Ph. gigantea*, перспективних розробок вітчизняного біопрепарату, в лабораторних умовах вивчили властивості 46 ізолятів антагоніста, відібраних у різних лісогосподарських підприємствах Київського та Житомирського ОУЛМГ, що знаходяться в зоні Центрального Полісся. Для подальшого тестування у виробничих умовах взято 8 штамів гриба, що володіють високими показниками швидкості лінійного зростання, інтенсивності спороутворення, антагоністичної активності до *Heterobasidion annosum* (таблиця 5). Всі штами, що тестувались, показали здатність розкладати деревину пеньків сосни звичайної. Успішність інокуляції пеньків залежить від індивідуальних особливостей антагоніста, термінів та способу обробки. Кращу приживаність на природному субстраті показали штами PG 10.10.2 (сапрофітовано 76,0–92,6% пеньків) та PG 10.8.3 (сапрофітовано 55,6–84,6% пеньків). Дані штами також мають високу дереворуйнівну активність (в лабораторних умовах втрата маси зразків деревини сосни звичайної склала 36,6 і 44,7% відповідно) і можуть бути рекомендовані для розробки на їх основі біологічного препарату.

**Характеристика біологічних властивостей штамів *Phlebiopsis gigantea*,
відібраних для тестування у виробничих умовах
(лабораторні досліди, 2018–2021 рр.)**

Код штама	Середньодобова швидкість лінійного росту міцелію, мм/добу	Інтенсивність спороутворення, млн. шт./см ²	Антогоністична активність до збудника <i>Heterobasidion annosum</i>	
			ширина зони наростання, мм	швидкість наростання, мм/добу
PG 10.6.2	8,29 ± 0,36	33,58 ± 9,99	12,11 ± 8,62	0,63 ± 0,14
PG 10.7.1	7,90 ± 0,20	61,38 ± 9,60	11,44 ± 5,87	0,74 ± 0,36
PG 10.8.3	7,58 ± 0,72	40,61 ± 7,28	14,56 ± 9,70	0,90 ± 0,58
PG 10.10.2	8,16 ± 0,27	40,12 ± 7,35	9,11 ± 1,72	0,36 ± 0,09
PG 11.3.1	8,29 ± 0,31	24,80 ± 1,54	8,44 ± 4,56	0,48 ± 0,19
PG 11.5.1	9,61 ± 0,25	6,66 ± 1,89	14,39 ± 4,90	0,84 ± 0,11
PG 11.13.1	8,16 ± 0,31	18,07 ± 4,35	13,28 ± 4,76	0,70 ± 0,41
PG 11.15.3	9,50 ± 0,36	6,16 ± 1,44	8,22 ± 2,76	0,40 ± 0,13
НІР ₀₀₅	0,24	0,26	0,32	0,27

Найбільш результативною виявилась обробка свіжих (давність рубки – не більше 7 діб) поверхонь пеньків з подальшим прикриттям тирси дисковими культиваторами (85,6%), а також без прикриття (83,6%) (таблиця 6). Завдяки своїй простоті, обробка свіжих пеньків без прикриття може бути рекомендована для застосування в лісовому господарстві зони Центрального Полісся України.

Таблиця 6

**Ефективність обробки деревини пеньків сосни звичайної на зрубах штамами *Phlebiopsis gigantea* залежно від способу обробки
(виробничі дослідження в умовах ДП «Житомирське ЛГ»,
ДП «Зарічанське ЛГ», ДП «Боярське ЛГ», ДП «Бородянське ЛГ»,
ДП «Овруцьке ЛГ» протягом 2018–2020 рр.)**

Варіант проведення обробки пеньків	Середня ефективність обробки пеньків, %
старі (більше 7 діб) поверхні пеньків без прикриття	63,1 ± 7,8
свіжі (менше 7 діб) поверхні пеньків без прикриття	83,6 ± 7,4
свіжі поверхні пеньків, прикриті мохом або підстилкою	75,4 ± 9,0
свіжі поверхні пеньків, прикриті дисковими культиваторами тирсою та порубковими залишками	85,6 ± 5,7
НІР ₀₀₅	0,22

На контрольних варіантах, де обробка пеньків дослідним інокулятом не проводилась, також спостерігалось масове утворення плодових тіл

Phlebiopsis gigantea, яке поступово знижувалося по мірі віддалення від дослідних ділянок. З відривом 145 м кількість сапрофітованих пеньків становила 23,9%, але в відстані 196 м – 6,1%. Також змінювалось і середнє покриття поверхні пенька плодовими тілами антагоніста (від 50,8% біля дослідної ділянки до 0,3% на відстані 196 м). Отже, весняні рубки із внесенням *Phlebiopsis gigantea* дозволяють антагоністу не тільки сапрофітувати оброблений деревний субстрат, але і сприяє його активному поширенню в насадженні сосни звичайної завдяки інтенсивному спороутворенню швидкозростаючих плодкових тіл. На основі відібраного штаму Ph. gigantea PG 10.8.3 на сьогоднішній день здійснюється розробка технології виробництва біологічного препарату на базі Інституту мікробіології і вірусології НАН України.

Обговорення отриманих результатів. При проведенні досліджень патологічного процесу збудника кореневої губки сосни звичайної та ситевої гнилі, нами встановлено закономірності значного поширення збудника як кореневої губки сосни звичайної, так і ситевої гнилі. Зокрема, в результаті проведеного аналізу нами встановлено, що площа вогнищ ситевої гнилі у соснових лісах Центрального Полісся України становить 5,2% площі сосняків. Це говорить про те, що ареал поширення хвороби зростає при просуванні з Півночі на Південь, досягаючи найбільшого значення в центральній та південній частинах з відповідним показником ураження соснових деревостанів 6,0–7,8%. При оцінці механічних властивостей деревини насаджень сосни звичайної, що були протягом 2–3 років уражені збудниками кореневої губки сосни звичайної, а також збудником ситевої гнилі ми встановили закономірність, що із збільшенням віку патологічного відпаду сосни звичайної у вогнищах всихання, відбувається зміна міцністних та експлуатаційних властивостей деревини та якості одержуваних лісоматеріалів. Зокрема прослідковується закономірність, що через 3 роки щільність деревини сухостою знижується на 12,2%, твердість – на 4,1%, міцність – на 20,3% порівняно зі здоровою. Проте, через рік після всихання, вихід сортової деревини скорочується на 14,8%, через 2 роки – на 82,6%, через 3 роки – на 86,4%, через 4 роки – на 100%. Відповідно знижується вартість одержуваних лісоматеріалів у середньому на 20,6% з 1-річного сухостою, на 69,2% – з 2-річного, на 75% – з 3-річного. Крім цього слід зазначити, що для проведення більш глибокої і точної оцінки матеріального збитку, заподіяного дією збудників кореневої губки сосни звичайної та ситевої гнилі необхідно було вдосконалити формулу розрахунку щорічної шкоди від патологічної дії цих збудників. Вона враховує втрати вартості лісової продукції, витрати на проведення лісозахисних і лісовідновлювальних заходів, втрачений прибуток від зниження виходу цінної деревини до рубки. Згідно з проведеними розрахунками, величина щорічного збитку коливається від 65,78 до 2973,51 грн./га в залежності від лісорослинного району і в цілому по Центральному Поліссю становить 21,8 млн. грн. (У цінах на 01.10.2018).

Висновки. В результаті проведених досліджень нами виявлено зв'язок поширення хвороби з віком і лісорослинними умовами насаджень сосни звичайної, зокрема: найчастіше вогнища зустрічаються в середньовікових сосняках (6,2%), що ростуть в брусничниках (5,8%), мохових (4,8%) і вересових (2,6%) типах лісу. Ми довели, що масове куртинне всихання сосни відбувається і в раніше стійких насадженнях природного походження, де формується від 15,0 до 40,7% вогнищ хвороби.

Встановлено, що у великих діючих та згасаючих осередках кореневої губки в процесі всихання дерев беруть участь кілька груп вегетативно сумісних ізолятів *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., що займають різне положення у межах куртини і охоплюють неоднакові площі, тоді як у виникаючих і невеликих осередках, поширена одна група вегетативно сумісних ізолятів. Таким чином, вивчення популяційної структури патогену в уражених сосняках дозволило зробити нам висновок, що інфекційний процес у куртині всихання ініціюється особиною *Heterobasidion annosum*, патогенність і дереворуйнівна активність ізолятів якої відповідно вище на 35,7 і 33,6%, ніж у ізолятів де сформоване вогнище. Ініціюючі особини сапрофітують $18,0 \pm 11,0$ корневих систем дерев сосни звичайної і займають площу $67,7 \pm 23,9$ м², у той час як інші (вторинні) особини сапрофітують від $2,3 \pm 1,2$ корневих систем, що знаходяться на площі 107 ± 43 м².

На підставі проведених лабораторних та виробничих досліджень в умовах лісгосподарських підприємств зони Центрального Полісся України з метою розробки біологічного препарату, ефективного у захисті соснових насаджень від кореневої губки, нами відібрано штами *Phlebiopsis gigantea* PG 10.8.3 і PG 10.10.2, що мають високу швидкість лінійного зростання (7,6 і 8,2 мм/добу відповідно), володіють достатньою інтенсивністю спороутворення (40,6 і 40,1 млн. спор/см² поживного середовища), антагоністичною активністю (ширина зони наростання антагоніста на колонії патогену – 14,6 та 9,1 мм, швидкість наростання – 0,9 та 0,4 мм/добу) на агаризованому живильному середовищі, здатністю швидко руйнувати деревину сосни (на 44,7 і 36,6% за 90 діб.) і сапрофітувати свіжі поверхні пеньків сосни після проведення рубок догляду (приживання становить 74,4 і 82,1% відповідно). В перспективі є необхідність проводити подальші дослідження по застосуванню біопрепаратів на основі *Phlebiopsis Gigantea*, що дозволить знизити первинне зараження свіжих пеньків спорами гриба *Heterobasidion annosum*, запобігати поширенню інфекції по корневих системах зрубаних дерев за рахунок колонізації і швидкого розкладання деревини грибом-антагоністом.

References

1. Aparyn B. F. (2007). Veryfykatsyia «Klasyfykatsyy u dyahnostyky pochv Ukrainy» po kollektsyy pochvennykh monolytov Tsentralnoho muzeia pochvovedenyia um. V. V. Dokuchaeva. Kyev, Naukova dumka, 531. [in English].

2. Artiukhovskiy A. K. (1996). O vyrashchuvannyu sosny na staropakhotnh zemliakh. Kyev. Naukova dumka [in Ukrainian].
3. Evdokymov V. N. (1987). Osobennosty radyalnoho pryrosta ely y vlyaniye na neho kornevoi hubky. Kyev. Naukova dumka [in English].
4. Korotkov M. Y. (2004). Klassyfykatsyy y dyahnostyky pochv Ukrainy. Kharkov. Znanyia [in Ukrainian].
5. Korotkov Y. A. (1994). Lesorastytelnoe raionirovaniye Ukrainy y respublik byvsheho SSSR. Khrkov. Lyby [in English].
6. Lebedev A. V. (2000). Patolohiya derevev v raznykh typakh lesa. Omsk. Kalvarya [in English].
7. Lebedev A. V. (1999). Patolohiya derevev sosny obyknovennoi v drevostoiakh raznoho vozrasta. Poltava. Znannia [in English].
8. Levchenko V. B., Shulga I. V., Nemerytska L. V., Zhuravska I. A., Romanyuk A. A. (2021). Organization and monitoring of forest pests with the use of pheromones in the conditions of the state enterprise «ZARICHANSKE FORESTRY». <https://doi.org/10.26886/2414-634>.
9. Levchenko V. B., Shulga I. V., Ivanyk I. D., Budnik I. P., Korkulenko A. M., Ganzhalyuk T. S. (2021). Restoration of forests in the territories passed by large-forest forest fire in conditions of the state enterprise «Ovrutske Forestry». <https://doi.org/10.26886/2414-634>.
10. Levchenko V. B., Shulga I. V., Ivanyk I. D., Romanyuk A. A., Rusetskaya N. M. (2022). Innovative forest and biological methods of entomological monitoring of trumpet pest in the conditions of the Pergan nature conservation research department of Poliska nature reserve. <https://doi.org/10.26886/2520-7474>.
11. Linderholm H. W. Climatic influence on scots pine growth on dry and wet soils in the central Scandinavian mountains, interpreted from tree-ring widths. *Silva. Fenn* [in English].
12. Manaenkov A. S. (1996). Problemy zashchyty sosniakov Severa Ukrainy. Uman. Lesokhoziaistvennaia ynformatsyia [in English].
13. Pavlov Y. N. (2008). Zakonomernosty obrazovaniya ochahov *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s. str. v heohrafycheskykh kulturakh sosny obyknovennoi v severnykh raionakh Ukrainy. Vynnytsa. Lesnaia promyshlennost [in Ukrainian].
14. Pohrebniak P. S. (1968). *Obshee lesovodstvo*. Moskva. Kolos [in English].
15. Romanovskiy M. H. Produktyvnost, ustoichyvost y byoraznoobrazye ravnynnykh lesov Ukrainy y Belarusyy. Mynsk. MHUL [in English].
16. Cherubini P. (2002). Treelife history prior to death: Two fungal root pathogens affect tree-ring growth differently. *Hannofer. Ecol* [in English].
17. Erbilgin N. (2003). Spatial analysis of forest gaps resulting from bark beetle colonization of red pines experiencing belowground herbivory and infection. *Ren. Forest* [in English].
18. Heinsdorf D. (1998). *Heterobasidion annosum*. Schaden in Kiefernstangenh Holzern auf Kippsubstraten durch den Pilz *Heterobasidion annosum*. Bremen. AFZ/Wald [in English].
19. Heydeck P. (2000). Bedeutung des Wurzelschwammes im nordost-deutschen Tiefland. *AFZ/Wald* [in English].
20. Kozlowski T. (1997). *Growth Control in Woody Plants*. Bonn. Academic Press [in English].
21. Nobles M. K. (2019). Identification of cultures of wood – in habiting Hymenomycetes. Frankfurt, Rill, 139. [in English].
22. Schonhar S. (2002). Bekämpfung der Rotfaule bei Fichte. Dortmund. *AFZ/Wald* [in English].
23. Shtukin S. S. (1997). Changes in proportion of pine trees affected by root rots in cultivated stands. Munhen. ARTF [in English].
24. Whitney R. D. (2002). Relation ship of root rot to black spruce windfall and mortality following strip clearcutting. *Henn. Forest* [in English].

V. B. Levchenko¹, M. S. Karpovych¹, M. V. Tkachenko²

¹*Malyny Vocational College, v. Hamarnya of Zhytomyr region, Ukraine*

²*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**PATHOGENESIS OF *HETEROBASIDION ANNOSUM* (FR.) BREF. AND
MONITORING OF SCOTS PINE NET ROT IN CONDITIONS CENTRAL
POLISSIA OF UKRAINE**

The topical issues of damage to Scots pine plantations by causative agents of root fungus and root rot in the conditions of forestry enterprises in Kyiv and Zhytomyr regions have been clarified. The description of the biological and morphological features of root fungus and root rot pathogens their virulence and the nature of the damage to pine stands in the conditions of Kyiv and Zhytomyr Polissia were analyzed. In the course of the research, the pathological processes of root fungus and root rot pathogens were studied. Special attention in the article was drawn to the morphological changes of the causative agent of the root fungus of Scots pine, which has become widespread on old arable lands under the conditions of the State Forestry Enterprises of Kyiv and Zhytomyr Polissia. Focused attention on the synergistic effect of the causative agent of the root fungus of Scots pine in relation to the pathological process of net rot in pine stands. It has been established that the causative agent of the root fungus of common pine, as well as net rot affects forest plantations at the age of 15-25 years. It has been proven that changes in climatic conditions, warming of the winter period, and a decrease in the amount of precipitation during the growing season significantly increase the intensity of the pathological process of pathogens of the root fungus and root rot of Scots pine, which is a source of epiphytotia in the conditions of the Central Polissia. The pathology of the causative agents of root fungus and net rot of Scots pine was studied, as well as the influence of different types of soil and changes. in climatic conditions on the spread of infection of these causative agents in the forest edatopes of the Central Polissia. It was established that the main methods of conducting research on the study of the pathological process of the root sponge of common pine and silk rot are computational and analytical methods for collecting and processing the results of phytopathological examination of pine plantations, different types soils on the spread of the causative agent of root of the Central Polissia.

Key words: *causative agent, disease, forest, sponge, rot.*