

УДК 630.174.175 : 630.181.36 : 630.416.16

І. М. УСЦЬКИЙ*

**ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ КОРЕНЕВИХ СИСТЕМ СОСНИ
В ОСЕРЕДКАХ КОРЕНЕВОЇ ГУБКИ *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.**

Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

Сума площ перерізу коренів дерев сосни IV класу віку в осередку кореневої губки у міру розвитку хвороби зменшується як для всієї кореневої системи, так і для її складових, найбільш суттєво – для горизонтальних коренів. Максимальне зменшення суми площ перерізу коренів визначено на межі прогалини. На початковій стадії розвитку хвороби патоген уражує дерева зі слабо розвиненим стрижневим коренем. Стійкість до розвитку хвороби в активній частині осередку зумовлюється добре розвиненим стрижневими коренем, а у відкритому просторі прогалини – потужним горизонтальним корінням. Найбільшого динамічного навантаження в розрідженому просторі осередку всихання зазнають кореневі системи високих дерев. Основним фактором поширення осередку всихання є вітрове навантаження.

Ключові слова: коренева губка *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., коренева система, горизонтальні корені, стрижневі корені, ступінь ураження коренів.

Вступ. Кореневі системи дерев вивчені недостатньо, якщо порівняти з надземною частиною, що пов'язано з великою трудомісткістю робіт і відсутністю доступних методів визначення особливостей їхньої будови. Кореневі системи сосни (*Pinus silvestris* L.) у зв'язку з ураженням кореневою губкою (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref) вивчали переважно з метою оцінювання стану дерев або визначення особливостей будови кореневих систем дерев різного стану. Під час розкопування кореневих систем у 25-річному сосновому насадженні, проведеного у Білорусі, було визначено, що маса живого коріння дерев, уражених у сильному ступені кореневою губкою, була у 6 разів меншою, ніж здорових. У середньому коренева система уражених дерев містить близько 75 % мертвого коріння, а здорових – лише 23 % (Fedorov 1984). У 50-річних дерев сосни в Нижньому Придонні (Російська Федерація) кореневі системи уражених у сильному ступені дерев не мали стрижневих коренів. Основу кореневої системи таких дерев становили горизонтальні корені, розміщені переважно у верхньому горизонті ґрунту. Здорові дерева в цих умовах характеризувалися наявністю стрижневого кореня та асиметричним розвитком горизонтальних коренів, що є наслідком механізованого садіння культур (Kuznyetsov 2005). Незважаючи на те, що коренева губка уражує насамперед кореневу систему дерев, саме зміни її структури у процесі розвитку хвороби залишаються невивченими.

Метою наших досліджень було виявлення особливостей будови кореневих систем дерев сосни звичайної, уражених кореневою губкою в різному ступені в конкретному осередку всихання.

Методика та об'єкти досліджень. Особливості будови кореневих систем соснових насаджень, уражених кореневою губкою, вивчали за нашою методикою (Ustskiy 1988) у чистому сосновому насадженні IV класу віку (Харківська область, ДП «Жовтневе ЛГ», Васищевське лісництво) у межах держбюджетної теми № 39 (Usovershenstvovat' sistemu mеgorгіyatіu 1988). Усі дерева на пробній площі (201 дерево), яка включала осередки всихання та частину міжосередкового простору, було зрубано та обміряно. Кореневі системи цих дерев у радіусі 1,0 м навколо стовбура було розкопано на глибину 1,0 м згідно з методиками, наведеними у публікаціях М. І. Калініна (Kalinin 1983) та М. М. Гузя (Huz 1996). У розкопаному просторі заміряли діаметр усіх коренів на відстані 5 см від їхніх відгалужень та оцінювали стадію ураження хворобою. Деревами I класу росту вважали екземпляри висотою 16,0–18,0 м, II класу – 14,6–15,9 м і III класу – 11,0–14,5 м.

Ураженими в початковій стадії вважали корені з незначним засмоленням, яке найчастіше виявляли на згинах грубого коріння та в місцях розгалуження тонких додаткових корінців у вигляді білястих плям живиці на сухій поверхні кореня чи чорних –

* © І. М. Усцький, 2017

на вологій. Луб таких коренів був живим і вологим. Тонкі відгалужені корінці (до 2 мм) – живі.

Ураженими у 1-й стадії вважали корені з частковим відмиранням тонких (до 2 мм) корінців. На згинах грубих коренів і в місцях їхніх відгалужень відзначено суттєве засмолення. Луб основних скелетних коренів – живий і вологий навіть під засмоленими ділянками.

До уражених у 2-й стадії зараховували кореневі системи з наявністю багатьох відмерлих відгалужених корінців і кінчиків основних скелетних коренів. На лубі виявляли темні некротичні плями та смуги. Засмолення деревини було значним секторальним. Відбувалося утворення тонких корінців із калюсної тканини навколо відмерлої частини коріння.

Кореневі системи, уражені в 3-й стадії, були засмоленими більше ніж наполовину. Коріння важке та просякнуте живицею. Луб мертвий.

За 4-ї стадії ураження деревина коренів була суцільно чи частково зруйнованою грибом і мала ознаки пістрявої ситоподібної гнилі.

Показник стану кореневої системи обчислювали за формулою (1) з урахуванням часток площі перерізу коренів у різній стадії ураження кореневою губкою від загальної площі перерізу всіх облікованих коренів та виражали у відсотках:

$$СК = П_0 + 0,95П_n + 0,9П_{n-1} + 0,8П_1 + 0,6П_{1-2} + 0,4П_2 + 0,1П_{2-3} \quad (1),$$

де СК – стан кореневої системи;

$П_0$ – частка площі поперечного перерізу здорових коренів від загальної площі перерізу всіх облікованих коренів;

$П_n$ – частка площі поперечного перерізу коренів у початковій стадії ураження;

$П_1, П_2, П_3$ – частки площі поперечного перерізу коренів у першій, другій і третій стадіях ураження;

$П_{n-1}, П_{1-2}, П_{2-3}$ – частки площі поперечного перерізу коренів у проміжних стадіях ураження.

Коріння 3-ї та 4-ї стадій ураження до розрахунку СК не брали, оскільки воно втратило спроможність виконувати фізіологічні функції. Ступінь ураження кореневої системи (СУК) визначали за формулою (2):

$$СУК = 100 - СК \quad (2)$$

Матеріали, отримані нами під час досліджень у 80-роки, розглянуто дещо під іншим кутом зору в сучасний період у зв'язку з виявленням деяких аспектів впливу інших факторів на поширення осередків кореневої губки (Vuvchuty zakonmirnosti 2009).

Результати та обговорення. Результати досліджень свідчать, що найбільше дерев із неураженим корінням (19,7 %) розміщені порівняно щільною куртиною у ще не порушеному хворобою фрагменті насадження – у північно-західній частині пробної площі (рис. 1), а найбільш уражені (СУК 31–40 % і понад 40 %) – 12,4 % дерев, переважно у південно-східній її частині. Дерев на початковій стадії ураження (СУК 1–10 %) – 33,3 % екземплярів – межують переважно із фрагментом зі здоровими деревами, а до краю активної частини осередку – переважно дерева із СУК 21–30 % (9,5 % екземплярів). Між ними знаходяться дерева із СУК 10–20 % (9,5 % екземплярів). Чітких меж між частинами насадження з різним СУК не простежується, тому що темпи розвитку осередку залежать від індивідуальної стійкості дерев до хвороби. Стан кореневих систем (частка площі перерізу здорових коренів) може не відповідати стану дерева, визначеному за зовнішніми ознаками. Водночас, як свідчать результати досліджень на цьому об'єкті в минулому, з деяким наближенням він може бути визначений з урахуванням приросту за висотою за останній рік, висоти дерева та вмісту речовин, що екстрагуються ацетоном із лубу стовбура (Ustskiy et. al. 2009).

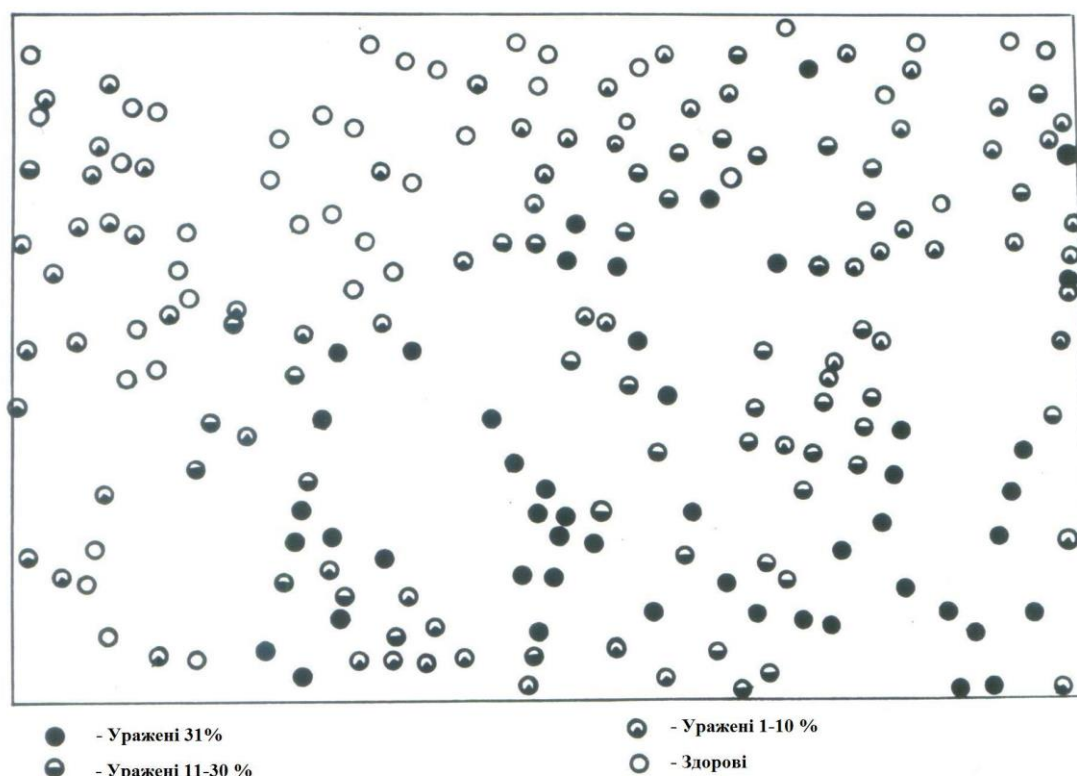


Рис. 1 – Розміщення дерев із різним ступенем ураження корневих систем на частині ураженого кореневою губкою насадження (за даними Ustskiy et. al. 2009)

Практично в усіх дерев, за винятком одного здорового і двох уражених у початковій стадії, виявлено добре розвинені стрижневі корені. Усі дерева, крім 4 здорових і 5 уражених у початковій стадії, мали якірні корені. Мінливість суми площ перерізу горизонтальних та якірних коренів не залежить від їхнього стану (62–67 та 77–94 % відповідно), а мінливість суми площ перерізу стрижневих коренів у міру розвитку ураження збільшується. Так, у дерев із СУК > 40 % сума площ перерізу була в 2 рази більшою, ніж у дерев із неуразеним корінням (табл. 1).

Таблиця 1

Архітектоніка корневих систем сосни звичайної за різного ступеня ураження кореневою губкою

Ступінь ураження коріння, %	Сума площ перерізу коренів, см ²								
	горизонтальних			якірних			стрижневих		
	$M \pm m$	V	t	$M \pm m$	V	t	$M \pm m$	V	t
Неуразені	392 ± 42,3	64,7	–	94 ± 10,6	64,3	–	221 ± 15,5	41,6	–
1–10	355 ± 26,7	61,7	0,75	85 ± 8,0	74,1	0,67	119 ± 16,6	61,6	0,16
11–20	312 ± 41,0	66,9	1,34	79 ± 13,2	81,4	0,86	129 ± 25,6	65,4	0,72
21–30	219 ± 31,5	65,0	3,4**	77 ± 13,3	72	1,01	188 ± 24,5	55,2	1,12
31–40	246 ± 45,4	69,2	2,36*	83 ± 21,3	95,6	0,43	235 ± 35,8	57,0	0,36
> 40	275 ± 34,0	61,7	2,15*	81 ± 14,2	85,5	0,71	149 ± 28,7	96,3	2,21

Примітка. Відмінності достовірні: * – при $P = 0,05$; ** – при $P = 0,01$.

Встановлено, що рівень ураження дерев кореневою губкою не залежить від архітектоніки та розмірів кореневої системи. У міру розвитку хвороби потужність кореневої системи (сума площ перерізу коренів) зменшується як для всієї кореневої системи, так і для її складових: найбільш суттєво – горизонтальних, меншою мірою – стрижневих та якірних коренів (рис. 2). Максимальне зменшення суми площ перерізу визначено при СУК 21–30 %. Середня потужність коренів дерев із СУК 31–40 %, особливо стрижневих, проти менш уражених дерев дещо збільшується, що пояснюється відпадом дерев із слабо розвиненими

кореневими системами в активній частині осередку. Виявлено тенденцію до подальшого збільшення потужності горизонтальних коренів найбільш уражених дерев (СУК > 40 %), натомість площа перерізу вертикальних коренів, особливо стрижневих, зменшується. Помічені тенденції свідчать, що стійкішими до хвороби на краю прогалини в активній частині осередку є дерева з добре розвиненими стрижневими коренями, а у відкритому просторі прогалини – дерева з потужними горизонтальними коренями.

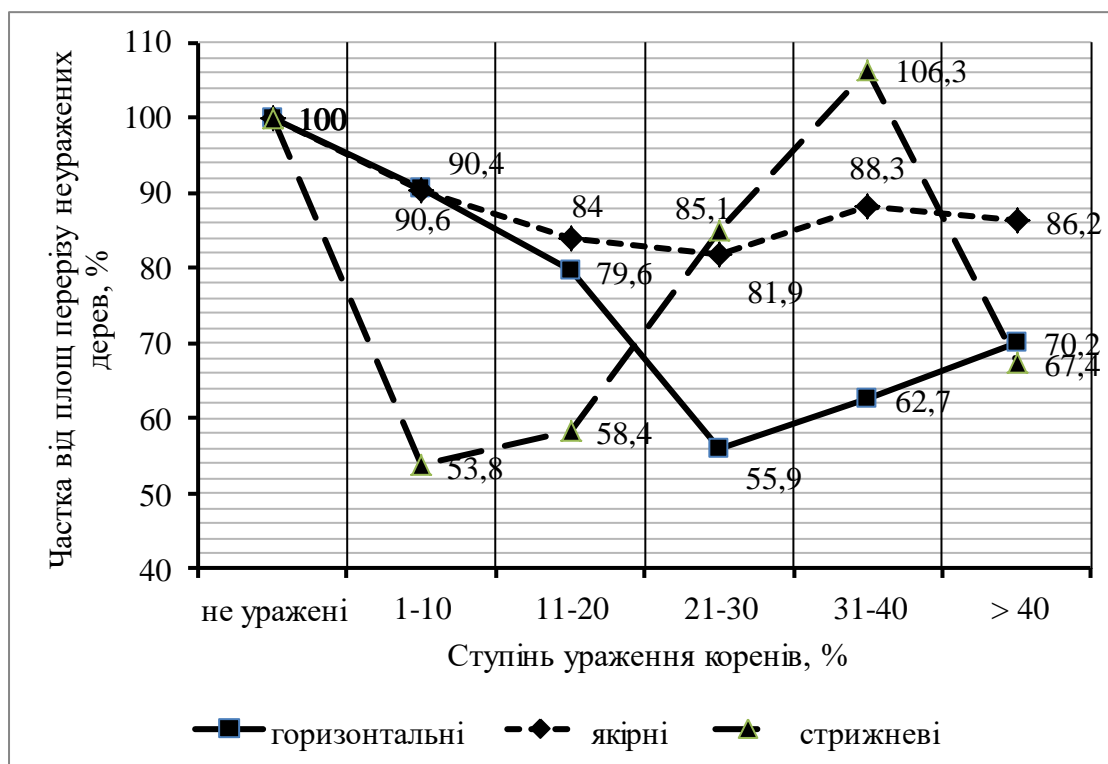
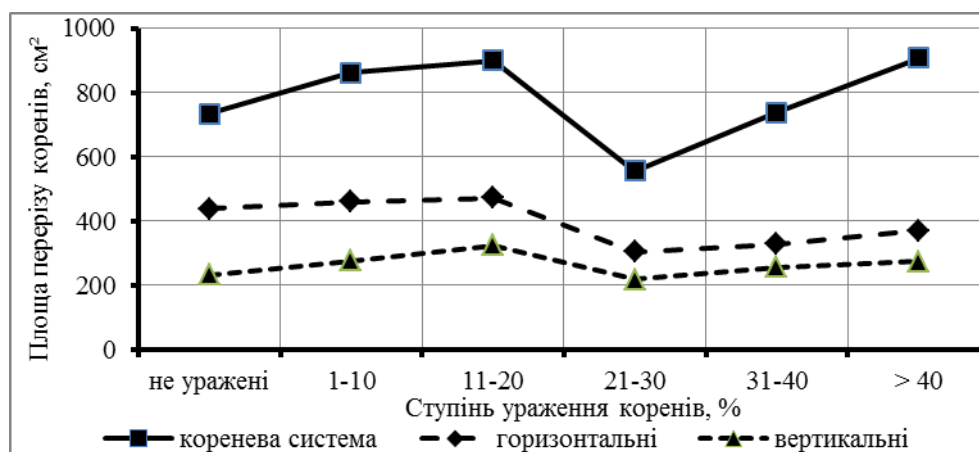


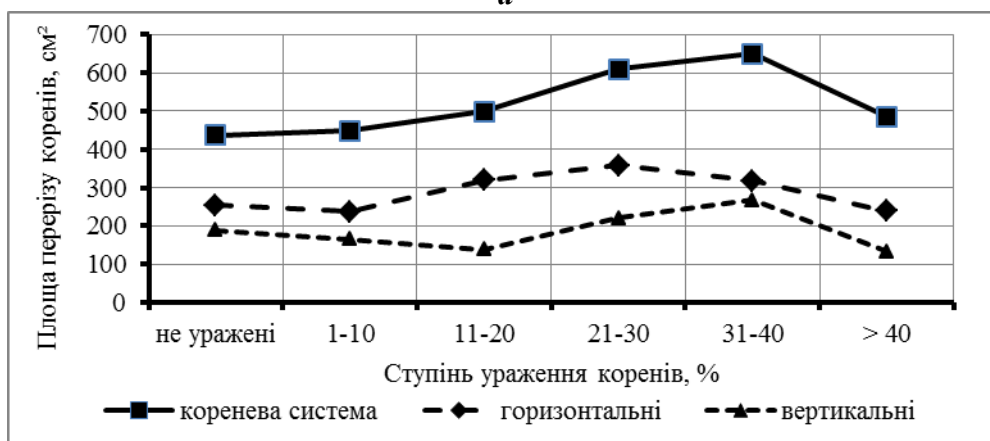
Рис. 2 – Зміна потужності різних коренів під впливом розвитку ураження кореневою губкою

Потужність корневих систем під час розвитку хвороби залежить від висоти дерева (рис. 3). Так, площа перерізів коренів високих дерев (I клас) несуттєво збільшується – від здорових дерев до уражених в ступені 11–20 %, а потім достовірно зменшується при СУК 21–30 %. Подальше збільшення СУК супроводжується поступовим збільшенням потужності корневих систем, максимальну величину яких відзначено в найбільш уражених деревах. Потужність корневих систем дерев II класу Крафта в міру розвитку хвороби збільшується, досягаючи максимальної величини для СУК 31–40 %, і знижується у найбільш уражених. Площа перерізу корневих систем дерев III класу Крафта в міру розвитку хвороби змінюється несуттєво. Динаміка потужності горизонтальних і стрижневих коренів загалом є такою самою, як і в усіх коренів, але слабше виявленою. Таким чином, зменшення площі перерізу коренів у разі СУК 21–30 % відбувається переважно у високих дерев, що пояснюється їхньою непристосованістю до умов відкритого простору. Деяке збільшення середньої потужності коріння дерев I та II класів із високим СУК пояснюється відпадом дерев із менш потужними кореневими системами. Дерев з потужними кореневими системами є стійкішими до розвитку хвороби.

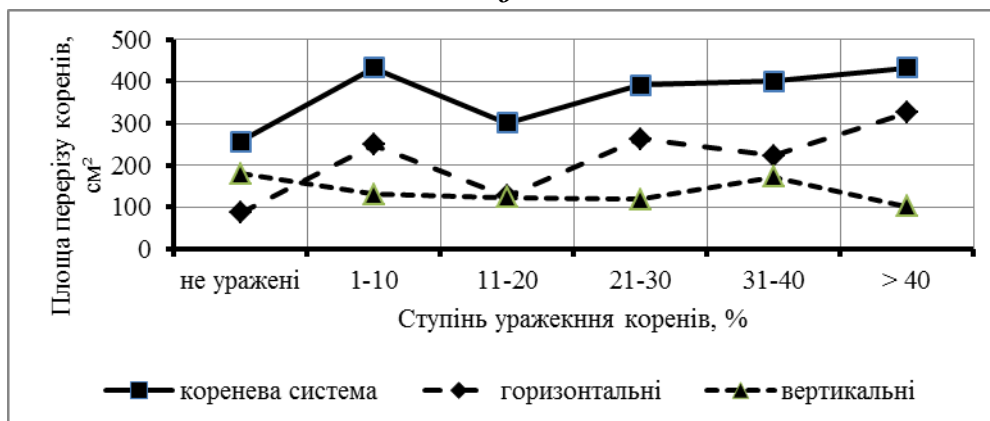
Залежність потужності корневих систем від ступеня їхнього ураження обумовлена положенням дерева відносно розрідженого простору – прогалини. Так, найбільш критичним положенням дерева в осередку всихання є край прогалини, де коріння більшості дерев (СУК 21–30 %) є ураженим кореневою губкою.



a



б



в

Рис. 3 – Зміни потужності корневих систем дерев різних класів росту за Крафтом (*a* – I клас; *б* – II клас; *в* – III клас) під впливом розвитку ураження кореневою губкою

З погляду теорії В. Ф. Раздорського (Razdorskiy 1955) стосовно будівельно-механічних принципів будови рослин, на рослину діють два основних типи механічних навантажень – статичні (вага власного тіла) та динамічні (переважно пориви вітру). Статичному навантаженню відповідає віддалення опірної матеріалу до периферії органу (горизонтальне коріння). Пристосуванню до динамічного навантаження відповідає концентрація опірної матеріалу у повздовжній осі (стовбур дерева, стрижневі корені). Оскільки основним фактором, що визначає форму та механічну стійкість дерева, є вітер (Belov 1974), зростання динамічних навантажень у міру наближення відкритого простору прогалини призводить до того, що коренева губка уражує дерева із майже вдвічі меншою потужністю стрижневої системи проти ще не уражених дерев. Зростання ступеня ураження коренів призводить до

поступового відпаду дерев із недостатньо розвиненим стрижневим корінням, потужність якого у дерев із СУК 31–40 % є навіть дещо більшою, якщо порівняти з неураженими деревами. Критичним для стану дерев є ураження патогеном понад 40 % коренів; при цьому ступені ураження у відкритому просторі прогалини залишаються дерева, потужність стрижневого коріння яких на третину менша від неуражених. Потужність горизонтальних коренів, які відповідають статичним навантаженням, у міру збільшення СУК поступово зменшується, досягнувши мінімальних значень, якщо порівняти з неураженими деревами, за СУК 21–30 %. При подальшому розвитку хвороби (СУК 31–40 % і більше), у дерев, що залишаються в розрідженому просторі прогалини, потужність горизонтального коріння стає дещо більшою, тому що навантаження на горизонтальне коріння в цих умовах також суттєво зростає. Найбільшого динамічного навантаження в розрідженому просторі осередку всихання зазнають високі дерева (І клас росту за Крафтом) і особливо на межі прогалини при СУК 21–30 %, де відпадає більшість цих дерев. Дерева основного намету (ІІ клас росту за Крафтом) є стійкішими в цих умовах, а їхній основний відпад відбувається при СУК 31–40 % і більше. На дерева ІІІ класу росту вітрові динамічні навантаження впливають найменше. У міру розвитку патологічного процесу потужність кореневих систем цих дерев змінюється несуттєво, але виявлено тенденцію деякого збільшення потужності горизонтальних коренів та несуттєвого зменшення – вертикальних. Помічені тенденції свідчать, що найбільш стійкими до хвороби є дерева з потужними кореневими системами, переважно І та певною мірою ІІІ класів росту, що відзначаються насамперед потужним горизонтальним корінням.

Висновки. Динаміка потужності кореневих систем дерев сосни в монокультурах ІV класу віку в осередку кореневої губки свідчить, що основним фактором поширення осередку всихання є вітрове навантаження. Встановлено, що в міру розвитку хвороби сума площ перерізу зменшується як для всієї кореневої системи, так і для її складових, найбільш суттєво – для горизонтальних. Максимальне зменшення суми площ перерізу коренів відбувається на межі прогалини. На початковій стадії розвитку хвороби уражуються патогеном дерева зі слабо розвиненим стрижневим корінням. Стійкість до розвитку хвороби в активній частині осередку зумовлюють дерева з добре розвиненими стрижневими коренями, а у відкритому просторі прогалини – дерева з потужним горизонтальним корінням. Найбільшого динамічного навантаження в розрідженому просторі осередку всихання зазнають дерева І класу росту за Крафтом. Відзначені тенденції свідчать, що найбільш стійкими до хвороби є дерева з потужними кореневими системами переважно І та певною мірою ІІІ класів росту, що характеризуються насамперед потужними горизонтальними коренями.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Belov, S. 1974. Veter – glavnyy faktor, opredelyayushchiy formu stvola derev'yev i ikh ustoychivost' [The wind is the main factor determining the shape of the tree trunk and tree stability]. Lesovodstvo, lesnyye kultury i pochvovedeniye [Forestry, silviculture and soil science], 3: 3–24 (in Russian).

Fedorov, N. I. 1984. Kornevyye gnili khvoynykh porod [Root rots of coniferous species]. Moscow, Lesnaya Promyshlennost, 160 p. (in Russian).

Huz, M. M. 1996. Korenevi systemy derevnykh porid Pravoberezhnoho stepu Ukrayiny [Root systems of wood species in the Right Bank steppe of Ukraine]. Kyiv, 145 p. (in Ukrainian).

Kalinin, M. I. 1983. Formirovaniye kornevoy sistemy derevyev [Formation of the root system of trees]. Moscow, Lesnaya promyshlennost, 152 p. (in Russian).

Kuznetsov, I. V. 2005. Ekologicheskiye osobennosti kornevoy gubki v nasazhdeniyakh sosny obyknovennoy Srednego Podonya [Ecological peculiarities of annosum root rot in the Scots pine stands in the Middle Don zone]. Dis. na soiskaniye uchenoy stepeni kand. biolog. nauk [PhD dissertation]. Voronezh, 195 p. (in Russian).

Razdorskiy, V. F. 1955. Arkhitektonika rasteniy [Architectonics of plants]. Moscow, Sovetskaya Nauka, 432 p. (in Russian).

Usovershenstvovat' sistemu meropriyatiy po zashchite sosny i yeli ot kornevoy gubki v zone intensivnogo vedeniya lesnogo khozyaystva [To improve the measures to protect pine and spruce stands against annosum root rot in the zone

of intensive forest management]. 1988. Otchet po teme № 39 (zaklyuchitelnyy); ruk. Ladeyshchikova Ye. I. [Report]. No gosregist. 01880086036. Kharkiv, URIFFM, 267 p. (in Russian).

Ustskiy, I. M. 1988. Osobennosti formirovaniya ochagov kornevoy gubki i vliyanie lesokhozyaystvennykh meropriyatiy na ustoychivost nasazhdeniy sosny [Specific features of the formation of root rot foci and the influence of forest management measures on the stability of pine plantations]. Dis. na soiskaniye uchenoy stepeni kand. s-kh. nauk [PhD dissertation]. Kharkiv, 348 p. (in Russian).

Ustskiy, I. M., Popkov, M. U., Mokrytskiy, V. O. 1992. Diahnostyka stanu derev sosny u vohnyshchakh korenevoyi hubky [Diagnosis of the condition of the pine trees in the foci of annosum root rot]. Lisivnytstvo i ahrolisomeliioratsiya [Forestry and Forest Melioration], 82: 8–14 (in Ukrainian).

Vyvchyty zakonomirnosti vynyknennya ta poshyrennya patolohichnykh protsesiv u lisakh Ukrayiny. Rozrobyty systemu lisopatolohichnoho monitorynhu ta rekomendatsiyi z pidvyshchennya stiykosti nasadzhen [To study the patterns of occurrence and distribution of pathological processes in the forests of Ukraine. To develop a system of forest-pathological monitoring and recommendations for improving planting stability]. 2009. zvit UkrNDILHA po temi № 4-t.1 (zaklyuchnyy); ruk. Ustskiy I. M. [Report]. No derzhreestr. 0104U005468; kod. mf. 0210U004329 KP 00994064. Kharkiv, 399 p. (in Ukrainian).

Ustskiy I. M.

FEATURES OF ROOT SYSTEM STRUCTURE IN THE FOCI OF ROOT ROT CAUSED BY *HETEROBASIDION ANNOSUM* (FR.) BREF.

Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

In the root rot focus in pine stand of the IV age class, the sum of cross-sectional areas of roots decreases both for the whole root system and for its components, mainly for horizontal roots. The maximal decrease of such area is registered on the border of a gap in the focus. In the initial stage of disease development, the pathogen attacks the trees with poorly developed central roots. Resistance to disease development in active part of focus is conditioned by the well-developed central roots and at open-space of gap – by strong horizontal roots. The highest trees are under the most severe dynamic loading in sparse stand. The wind loading is the main factor of the foci expansion.

Key words: root rot *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., root system, horizontal root, central root, root damage degree.

Усцкий И. М.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ СОСНЫ В ОЧАГАХ КОРНЕВОЙ ГУБКИ *HETEROBASIDION ANNOSUM* (FR.) BREF.

Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого

В очагах корневой губки монокультуры сосны IV класса возраста с развитием болезни сумма площадей сечений корней уменьшается как для всей корневой системы, так и для её составляющих, наиболее существенно – для горизонтальных. Максимальное уменьшение суммы площадей сечения корней отмечено на границе прогалины в очаге. В начальной стадии развития болезни патоген поражает деревья со слабо развитыми стержневыми корнями. Устойчивость к развитию болезни в активной части очага обусловлена хорошо развитыми стержневыми корнями, а в открытом пространстве прогалины – мощными горизонтальными корнями. Наиболее сильной динамической нагрузке в разреженном пространстве очага усыхания подвержены высокие деревья. Основным фактором расширения очага усыхания является ветровая нагрузка.

Ключевые слова: корневая губка *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., корневая система, горизонтальные корни, стержневые корни, степень поражения корней.

E-mail: ustskiy@uriffm.org.ua

Одержано редколегією 29.09.2017