

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2019.08.087>

УДК 582.47:632.124:

**Н.В. Заїменко<sup>1</sup>, Н.Е. Еланська<sup>1</sup>, Б.О. Іваницька<sup>1</sup>,  
І.П. Харитоновна<sup>1</sup>, Т.Ю. Бедернічек<sup>1</sup>, О.П. Юношева<sup>1</sup>,  
В.В. Швартау<sup>2</sup>, Л.М. Михальська<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України, Київ

<sup>2</sup> Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, Київ

E-mail: zaimenkov@ukr.net, victorschwartau@gmail.com

## **Всихання сосни — причини і перспективи захисту**

*Представлено членом-кореспондентом НАН України Н.В. Заїменко та членом-кореспондентом НАН України В.В. Швартау*

*Визначено аутоекологічні чинники негативного впливу на адаптивний потенціал рослин *Pinus sylvestris* L. На моніторинговій ділянці на території Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України виявлено значне зростання вмісту аміачного азоту в ґрунті під всохлими соснами, що пов'язано з швидкою деструкцією лісової підстилки, ущільненням ґрунту та інтенсивним розвитком трав'янистої рослинності. У модельних експериментах проаналізовано дію високих позитивних температур на накопичення аміачних форм нітрогену та зростання чисельності амоніфікаторів у ґрунті. Згідно з результатами досліджень, відмінності в зростанні концентрації  $\text{NH}_4^+$  узгоджуються з даними щодо емісії  $\text{CO}_2$  з поверхні ґрунту. Запропоновано розробки з покращення стану соснових насаджень.*

**Ключові слова:** *Pinus sylvestris* L., аміачний азот, амоніфікатори, емісія  $\text{CO}_2$ .

Клімат в Україні з помірно-континентального змінюється на континентальний, що супроводжується підвищенням температури та зменшенням рівня ґрунтових вод. Створюються погодні умови, сприятливі для розвитку шкідників і згубні для дерев з поверхневою кореневою системою, зокрема сосни. За даними Держлісагентства, в Україні швидко розвивається процес масової загибелі соснових лісів внаслідок дії короїдно-трахеомікозних комплексів. Лише в лісах Держлісагентства осередками короїдів і пов'язаних з ними хвороб вже охоплено 200 тис. га соснових насаджень. За даними останніх моніторингових досліджень, у поточний момент формується черговий цикл активного росту популяцій шкідників, у результаті чого восени (вересень—жовтень) прогнозується найпотужніший у цьому році цикл масового всихання рослин сосни. Зростання площ загиблих сосняків може сягнути 50 % їхніх обсягів на середину року. Ситуація ускладнюється і загострюється тим, що крім верхівкового короїда вже діагностується спалах масового розмноження шестизубчатого короїда.

© Н.В. Заїменко, Н.Е. Еланська, Б.О. Іваницька, І.П. Харитоновна, Т.Ю. Бедернічек, О.П. Юношева, В.В. Швартау, Л.М. Михальська, 2019

ISSN 1025-6415. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2019. № 8: 87—92



**Рис. 1.** Зовнішній вигляд рослин *Pinus sylvestris* L. на моніторингових ділянках: а – здорові сосни, б – всохлі сосни

На даний час зусилля науковців усього світу зосереджені на дослідженні інвазивних видів нематоди в соснових насадженнях [1]. При цьому питання імунітету рослин до хвороб і шкідників рослин залишаються, на жаль, поза їхньої уваги. Етіологія всихання – слабо вивчений і не зрозумілий розділ лісової патології. Однобокість трактувань причинно-наслідкових зв'язків загалом характеризується доволі спрощеним підходом, за яким пояснюється першопричина за будь-яким зрозумілим фактором впливу. Всихання дерев одного або декількох видів, особливо на різних стадіях онтогенезу – процес розтягнутий у часі та просторі, який залежить від безлічі чинників. Оскільки лісові екосистеми – найбільш складні біологічні комплекси в органічному світі, патологічні процеси, що в них відбуваються, це завжди взаємодія величезної кількості організмів різних таксономічних груп. Тому проблему масового всихання сосен необхідно розглядати з позиції синекології та біогеоценології, враховуючи, що загибель рослин на заключному етапі викликають фітопатогенні мікроорганізми та шкідники.

**Методика.** Експериментальна робота виконувалась на ботаніко-географічній ділянці “Ліси рівнинної частини України”, репрезентованої в Національному ботанічному саду ім. М.М. Гришка НАН України (рис. 1). Географічні координати експозиції, на якій розміщені здорові рослини: 50° 24,823' північної широти, 30° 33,543' східної довготи, освітленість – 10000 лк. Перший ярус – деревний, під'ярус утворений *Pinus sylvestris* L. Висота деревостану – 25 м, окружність стовбура – 1,2 м. II під'ярус утворює *Quercus robur* L. заввишки 15 м та окружністю стовбура 0,85 м. Підріст – *Quercus robur* висотою 2–5 м. Чагарниковий ярус заввишки 2,5 м утворюють *Coryllus avellana* та *Crataegus monogyna*. Трав'янистий ярус розріджений (проективне покриття 10 %) – *Clematis* sp. (проективне покриття 5 %), *Impatiens parviflora* (поодинокі), *Chelidonium majus* (поодинокі), *Lamium purpureum* (поодинокі).

Географічні координати експозиції, на якій розміщені всохлі рослини: 50° 24,834' північної широти, 30° 33. 517' східної довготи, освітленість – 10000 лк. І ярус деревний, утворений *Pinus sylvestris* L., висота деревостану – 15 м, окружність стовбура – 1–1,5 м, чагарниковий ярус відсутній. Підріст – *Acer platanoides* L. Трав'янистий ярус, проективне покриття – 100%, *Clematis* sp. (проективне покриття 85 %), *Vitis sylvestris* Gmel. (проективне покриття 5 %), *Urticadioica* L. (5 %), *Lamium purpureum* L. (поодинокі), *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott (поодинокі).

Вміст аміачного азоту в ґрунті оцінювали за методикою Г.Я. Рінккіса [2] за допомогою іономіра Mettler Toledo. Чисельність амоніфікаторів у ґрунті визначали за Г.О. Іутинською [3]. Статистичну обробку результатів досліджень проводили методами описової статистики та однофакторного дисперсійного аналізу за допомогою програм Statistica 10.0 Microsoft Office Excel.

**Результати та обговорення.** Лісову підстилку спрощено можна розглядати як суміш органічних речовин (целюлоза, білки, смоли та ін.), яка виконує багато захисних функцій. Однією з найголовніших з них є запобігання ущільненню ґрунту, а також сприяння збереженню комах-ентомофагів і мікроорганізмів, що пригнічують розвиток патогенних організмів, у результаті чого підтримується біологічна рівновага лісової екосистеми. Через дефіцит вологи в ґрунті та зростання температури повітря за останні роки в соснових насадженнях спостерігається швидка руйнація лісової підстилки. Загальна схема її деструкції виглядає таким чином: білки (+целюлоза) – гумінові сполуки – амінокислоти – аміді – аміак – нітриди – нітрати.

Порівняльний аналіз анізотропності розподілу аміачного азоту в горизонтальній і вертикальній проекції під соснами на моніторингових ділянках засвідчив значне зростання нітрогену під всохлими рослинами (табл. 1). Зокрема, вміст аміачних форм азоту під всохлими соснами у вертикальній проекції по ґрунтовому профілю підвищився в 1,3–2,4 раза порівняно зі здоровими рослинами. Найбільша відмінність у концентрації нітрогену спостерігалась у профілі 0–30 см.

Причинами накопичення аміачних форм нітрогену в ґрунті під сосною є:

ущільнення ґрунту внаслідок швидкої деструкції лісової підстилки та короткочасних злив; освітлення лісу, розвиток трав'янистої рослинності, накопичення органічної речовини, формування гумінових кислот в аеробних умовах, синтез водорозчинних аміачних сполук і їх проникнення за умов посухи в кореневу зону;

дефіцит вологи через зменшення кількості опадів та інтенсивний аеробіозис під час посухи з безперервним накопиченням мінеральних солей у дерновому горизонті;

Таблиця 1. Анізотропність розподілу аміачного азоту в ґрунті під сосною, мг/л ґрунту

Горизонтальна проекція			Вертикальна проекція		
Відстань від дерева, см	Здорова сосна	Всохла сосна	Глибина, см	Здорова сосна	Всохла сосна
0–50	30,3 ± 1,8	26,3 ± 1,4	0–30	15,9 ± 0,8	37,9 ± 1,9
50–100	25,9 ± 1,2	57,8 ± 3,6	30–60	21,4 ± 1,1	28,4 ± 1,3
100–150	24,8 ± 1,3	45,1 ± 2,8	60–90	14,8 ± 0,7	20,3 ± 0,9

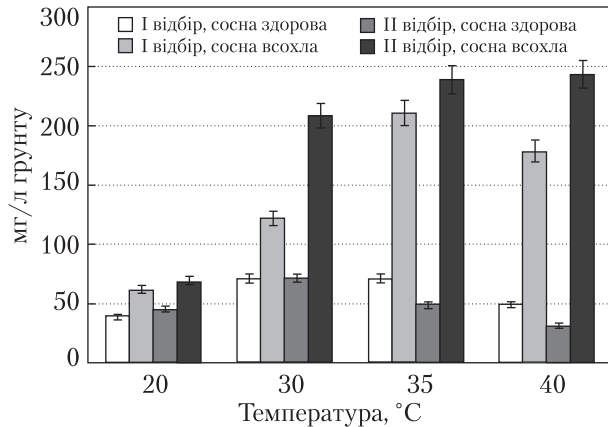


Рис. 2. Зміни вмісту аміачного азоту в ґрунті за різних температурних режимів

При цьому за температури 30 °C зафіксовано збільшення вмісту нітрогену в ґрунті в 1,8–2,0 раза, за температури 35 °C – в 1,8–3,4 раза. Через 13 діб кількість аміачного азоту під здоровою сосною зменшилася в 1,5 раза, а під всихаючою сосною, навпаки, підвищилася в 3,3 раза.

Згідно з результатами оцінювання чисельності амоніфікаторів у ґрунті під соснами, з підвищенням температури до 30 °C кількість амоніфікаторів зросла у 3 рази, до 40 °C – у 9 разів (табл. 2). Така істотна різниця була характерною для прикореневого ґрунту всохлої сосни. Для ґрунту здорових рослин зростання температури не спричинило істотних змін у чисельності цієї групи мікроорганізмів, і лише з підвищенням до 40 °C спостерігалось збільшення кількості амоніфікаторів удвічі.

Про зростання концентрації  $\text{NH}_4^+$  у ґрунті свідчить також підвищення рівня  $\text{CO}_2$  [4]. Згідно з результатами наших досліджень, емісія  $\text{CO}_2$  з поверхні ґрунту, на якій були розташовані всохлі сосни, зростала порівняно з експозицією здорових рослин, про що свідчать дані наведені на рис. 3.

Крім того, за даними К. Kazan [5] висока концентрація  $\text{CO}_2$  в ґрунті прямо або опосередковано впливає на ознаки, пов'язані з патогенезом, за рахунок зміни синекологічної взаємодії, порушення хімічних зв'язків у системі хижак–жертва.

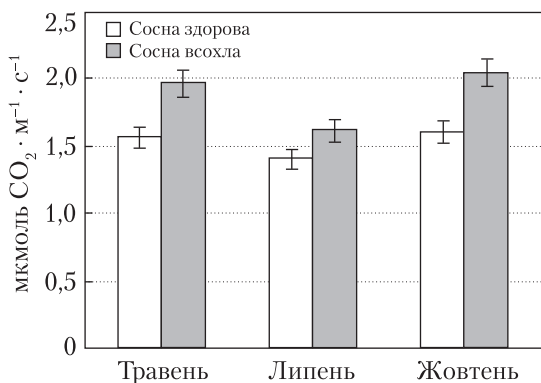


Рис. 3. Емісія  $\text{CO}_2$  з поверхні ґрунту експериментальних ділянок

солі амонію, які завжди наявні в дощовій воді;

високі температури, що призводять до перегріву ґрунту через швидку деструкцію лісової підстилки;

низький вміст у ґрунті калію та кальцію; інгібування процесів нітрифікації через високу кислотність ґрунту.

У модельних експериментах показано, що підвищення температури ґрунту з експериментальної ділянки з 20 до 40 °C сприяє зростанню концентрації аміачного азоту під здоровою сосною з 39,5 до 49,4 мг/л ґрунту, а під всохлою – з 62,4 до 178,7 мг/л (рис. 2).

Таблиця 2. Чисельність амоніфікаторів у ґрунті під сосною залежно від впливу температури (24 год)

Варіант досліджу	Температура, °C	Амоніфікатори, млн КУО/1 г сухого ґрунту
Сосна здорова	20	6,9 ± 0,4
Сосна всохла	20	2,8 ± 0,1
Сосна здорова	30	6,2 ± 0,4
Сосна всохла	30	8,3 ± 0,8
Сосна здорова	40	16,1 ± 0,8
Сосна всохла	40	26,1 ± 1,3

Отже, накопичення аміачного азоту та ущільнення ґрунту відбувається за умов зниження лісової підстилки, що призводить до фізіологічного ослаблення рослин сосни і робить їх сприйнятливими до фітофагів і фітопатогенних мікроорганізмів. При цьому зменшити негативний вплив аміачного азоту на кореневу систему рослин сосни можна шляхом внесення сполук калію і кальцію. Кардинально розв'язати задачу захисту рослин від всихання можливо шляхом управління процесами розвитку ґрунтової мікробіоти за допомогою інгібіторів нітрифікації, а також кремнієвмісних сумішей [6, 7], які змінюють склад і співвідношення популяцій мікроорганізмів, але це потребує додаткових досліджень.

Дослідження виконано в межах проекту “Інформаційно-ресурсне моделювання пулів і потоків CO<sub>2</sub> в наземних екосистемах України”, № ДР 0118U001904 за фінансової та логістичної підтримки НАН України в рамках цільової програми “Аерокосмічні спостереження довкілля в інтересах сталого розвитку та безпеки” як національний сегмент проекту Горизонт-2020 ERA-PLANET.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Zhang W., Zhao L., Zhou J., Yu H., Zhang C., Lv Y., Lin Z., Hu S., Zou Z., Sun J. Enhancement of oxidative stress contributes to increased pathogenicity of the invasive pine wood nematode. *Philos. Tr. R. Soc. B.* 2019. **374**. P. 3–10.
2. Ринькис Г.Я., Ноллендорф В.Ф. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами. Рига: Зинатне, 1982. 202с.
3. Іутинська Г.О. Ґрунтова мікробіологія: Навчальний посібник. Київ: Аристеї, 2006. 284с.
4. Zhong L., Bowatte S., Newton P.C.D., Hoogendoorn C.J., Li F.Y., Wang Y., Luo D. Soil N cycling processes in a pasture after the cessation of grazing and CO<sub>2</sub> enrichment. *Geoderma*. 2015. **259–260**. P. 62–70.
5. Kazan K. Plant-biotic interactions under elevated CO<sub>2</sub>: A molecular perspective. *Environ. Exp. Bot.* 2018. **153**. P. 249–261.
6. Інгібітор нітрифікації: Пат. № 113553 Україна. МПК C05C 3/08; заявл. 17.02.2015. Опубл. 10.02.2017.
7. Заименко Н.В., Иваницкая Б.А. Кремнийсодержащие минералы – ингибиторы процессов нитрификации. *Agrobiodivers. improve. nutr., health life qual. Part II*. 2015. P. 747–750.

Надійшло до редакції 17.05.2019

#### REFERENCES

1. Zhang, W., Zhao, L., Zhou, J., Yu, H., Zhang, C., Lv, Y., Lin, Z., Hu, S., Zou, Z. & Sun, J. (2019). Enhancement of oxidative stress contributes to increased pathogenicity of the invasive pine wood nematode. *Philos. Tr. R. Soc. B.*, 374, pp. 3-10.
2. Rinkis, G. Ya. & Nollendorf, V. F. (1982). Balanced nutrition of plants macro- and microelements. Riga: Zinatne (in Russian).
3. Iytunska, G. O. (2006). Soil microbiology: Textbook. Kyiv: Aristei (in Ukrainian).
4. Zhong, L., Bowatte, S., Newton, P. C. D., Hoogendoorn, C. J., Li, F. Y., Wang, Y., & Luo, D. (2015). Soil N cycling processes in a pasture after the cessation of grazing and CO<sub>2</sub> enrichment. *Geoderma*, 259-260, pp. 62-70.
5. Kazan, K. (2018). Plant-biotic interactions under elevated CO<sub>2</sub>: A molecular perspective. *Environ. Exp. Bot.*, 153, pp. 249-261.
6. Pat. 113553 UA, IPC C05G 3/08, Nitrification inhibitor. Zaimenko, N.V., Slusarenko, O.M. & Slusarenko, V.M. Publ. 10.02.2017 (in Ukrainian).
7. Zaimenko, N. V. & Ivanietskaya, B. A. (2015). Siliceous minerals – inhibitors processes of nitrification. *Agrobiodivers. improve. nutr., health life qual. Part II*, pp. 747-750 (in Russian).

Received 17.05.2019

Н.В. Заіменко<sup>1</sup>, Н.Э. Элланская<sup>1</sup>,  
Б.А. Иваницкая<sup>1</sup>, И.П. Харитонов<sup>1</sup>, Т.Ю. Бедерничек<sup>1</sup>,  
Е.П. Юношева<sup>1</sup>, В.В. Швартау<sup>2</sup>, Л.М. Михальская<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальный ботанический сад им. Н.Н. Гришко НАН Украины, Киев

<sup>2</sup> Институт физиологии растений и генетики НАН Украины, Киев

E-mail: zaimenkov@ukr.net, victorschwartau@gmail.com

#### УСЫХАНИЕ СОСНЫ – ПРИЧИНЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЗАЩИТЫ

Определены аутоэкологические факторы негативного воздействия на адаптивный потенциал растений *Pinus sylvestris* L. На мониторинговом участке на территории Национального ботанического сада им. Н.Н. Гришко НАН Украины обнаружено существенное увеличение содержания аммиачного азота в почве под сухими соснами, которое связано с быстрой деструкцией лесной подстилки, уплотнением почвы и интенсивным развитием травянистой растительности. В модельных экспериментах проанализированы действие высоких положительных температур на накопление аммиачных форм азота и рост численности аммонификаторов в почве. Согласно результатам исследований, различия в повышении концентрации  $\text{NH}_4^+$  согласуются с данными по эмиссии  $\text{CO}_2$  с поверхности почвы. Предложены разработки по улучшению состояния сосновых насаждений.

**Ключевые слова:** *Pinus sylvestris* L., аммиачный азот, аммонификаторы, эмиссия  $\text{CO}_2$ .

N.V. Zaimenko<sup>1</sup>, N.E. Ellans'ka<sup>1</sup>,  
B.O. Ivanyts'ka<sup>1</sup>, I.P. Kharytonova<sup>1</sup>, T.Y. Bedernichek<sup>1</sup>,  
O.P. Yunosheva<sup>1</sup>, V.V. Shvartau<sup>2</sup>, L.M. Mykhalska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup> Institute of Plant Physiology and Genetics of the NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: zaimenkov@ukr.net, victorschwartau@gmail.com

#### PINE WITHERING – CAUSES AND PROSPECTS FOR PROTECTION

The outecological factors of a negative influence on the adaptive potential of *Pinus sylvestris* L. plants have been determined. A significant increase in the content of ammonia nitrogen in the soil under dry pines has been detected on the experimental plot by monitoring the territory of the National Botanical Gardens. This is associated with the rapid destruction of forest litter, soil compaction, and the intensive development of grassy vegetation. In model experiments, we analyzed the effect of high positive temperatures on the accumulation of ammonia nitrogen forms and the growth of the number of ammonifiers in the soil. According to the results of studies, the differences in a growth of the  $\text{NH}_4^+$  concentration are consistent with the data on  $\text{CO}_2$  emissions from the soil surface. We propose the developments for improving the condition of pine plantations.

**Keywords:** *Pinus sylvestris* L., ammonia nitrogen, ammonifiers,  $\text{CO}_2$  emission.