

**ПОРОГОВЕ РІВНЯННЯ ШКІДЛИВОСТІ ЛИЧИНОК
ПЛАСТИНЧАСТОВУСИХ (*SCARABAEIDAE, MELOLONTHINAE*)
ФІТОФАГІВ**

Є. КОРЕНЧУК, аспірант

А. В. ФОКІН, доктор сільськогосподарських наук

В. Ф. ДРОЗДА, доктор сільськогосподарських наук

**Національний університет біоресурсів та природокористування
України**

Розроблено методикау визначення порогів шкідливості для личинок пластинчастовусих фітофагів у розсадниках сосни звичайної. Запропонована порогова модель, побудована на допущенні, що кореневу систему можна уявити як енергетичну матрицю, що містить дві трофічні зони: ризику і адаптивну та рівень максимального пошкодження, встановлено порогові значення співвідношення біомаси кореневої системи дворічних сіянців сосни звичайної та личинок пластинчастовусих фітофагів.

***Ключові слова:** ґрунтові шкідники, трофічні ресурси, живлення личинок, максимальний рівень шкідливості, біомаса, коренева система, сосна звичайна, сіянці деревних порід*

Постановка проблеми. Дані щодо порогів шкідливості личинок хрущів зустрічаються ще у роботах З. Головянко (1909) [3] – вже тоді помітили залежність стійкості сосни від розвитку її кореневої системи. У подальшому З. Головянко (1949) [4] розширює поняття про фактори резистентності додатково вказуючи ще два: інтенсивність виділення смоли в місцях пошкодження коренів та здатність до регенерації пошкодженої кореневої системи, тобто утворення нових коренів у місці перегриженого личинками хрущів кореня (20-ти річні сосни здатні витримати 30% зменшення кореневої маси). Ці моменти на фоні багаторічного характеру насаджень значно ускладнюють вирішення проблеми порогових рівнів, тим не менше ця робота необхідна, особливо враховуючи зростання популяційної динаміки пластинчастовусих фітофагів у останні роки. Таким чином, нами вирішувалася питання розробки методикау визначення порогів шкідливості для личинок пластинчастовусих фітофагів у розсадниках сосни звичайної.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. насаджень, які мають

різний рівень стійкості Сучасні розробки щодо порогових значень чисельності ґрунтових фітофагів в агроценозах здебільшого опираються на енергетичні показники потреби, споживання та засвоєння живлення, біомаси фітофага та рослини тощо [10,11]. Проблема визначення валідних порогових значень навантаження личинок хрущів на лісові культури значно ускладнюється багаторічним характером і відсутністю одностайної думки щодо останньої. Так, культура сосни досить уразлива протягом значного періоду у наслідок повільного росту, незначних річних змін морфометричних показників (наприклад, річний радіальний приріст становить всього 1,08-3,07 мм) і максимальної стійкості до негативних впливів, у тому числі і до пошкоджень кореневої системи личинками фітофагів, набуває у 60-річному віці [1,6,8,9]. З іншого боку, лісова екосистема, залежно від її типу: одновікова, різновікова чи старовікова, характеризується різною динамікою продуктивності та стійкості – перша найвища у одновікових і найнижча у старовікових, а друга – навпаки, найнижча у одновікових і збільшується по мірі старіння насаджень [7]. В той же час, одновікові екосистеми мають більш високу щільність, а старовікові є розрідженими, а відтак, тиск фітофагів на одне дерево зростає [12]. Наразі відсутня порогова модель, яка б об'єднувала розв'язки вищезазначених проблем, а саме: резистентності лісових культур, енергетичних потреб у живленні фітофагів, екологічний компроміс між стійкістю та щільністю насаджень. Пошук нових підходів, синтезу вирішення цих наукових проблем у повній мірі, або частково є актуальним.

Методика досліджень. Методи комбінаторики, аналіз рядів чисел Каталана. Кореневу систему сосни, як трофічний ресурс можна уявити у вигляді матриці розмірністю $n \times n$, де елемент n дорівнює енергетичній потребі у живленні личинок комплексу пластинчастовусих (західного та східного травневих, мармурового, волохатого та червненого хрущів) у перерахунку на одиницю їх маси.

Умовно матрицю можна розділити на дві частини (залежно від пунктирної лінії): А і Б (рис.1). А – зона ризику, частина кореневої системи з кореневою шийкою О, при пошкодженні яких найчастіше рослина гине, Б – зона стійкості або адаптивності, при пошкодженні якої загибель рослини малоімовірна. Діагональ ХУ є рівнем максимального пошкодження, що може витримати рослина. Для визначення порогових рівнів використовували метод представлення ходу залежності у вигляді відрізків прямих. При цьому зміна однієї лінійної ділянки іншою характеризує критичну точку [5,10].

Результати досліджень. Для визначення рівня шкідливості ґрунтових

фітофагів важливо оцінити за якої чисельності личинок різного віку дворічний сіянець сосни здатний вижити протягом критичного періоду – періоду активності личинок шкідника. Оскільки потреба у живленні личинок залежна від їх маси, логічним є абстрагуватися від показників популяційної структури (чисельність різних віків личинок) і оперувати енергетичними показниками потреби в живленні з урахуванням маси та частки рослинного живлення для кожного віку.

Іншими словами завдання полягає у визначенні кількості одиниць маси личинок, які протягом сезону спожили трофічний ресурс зони Б, не перетнувши рівень максимального пошкодження ХУ. Поставлене завдання можна розв'язати методами комбінаторики, визначивши число можливих маршрутів з точки X_1 у точку Y_1 . Для зручності можна вважати, що X_1 та Y_1 не належать ХУ, хоча відстань між ними прагне 0. При цьому обов'язковою умовою є неперетинання та недоторканість лінії рівня максимального пошкодження (рис. 1).

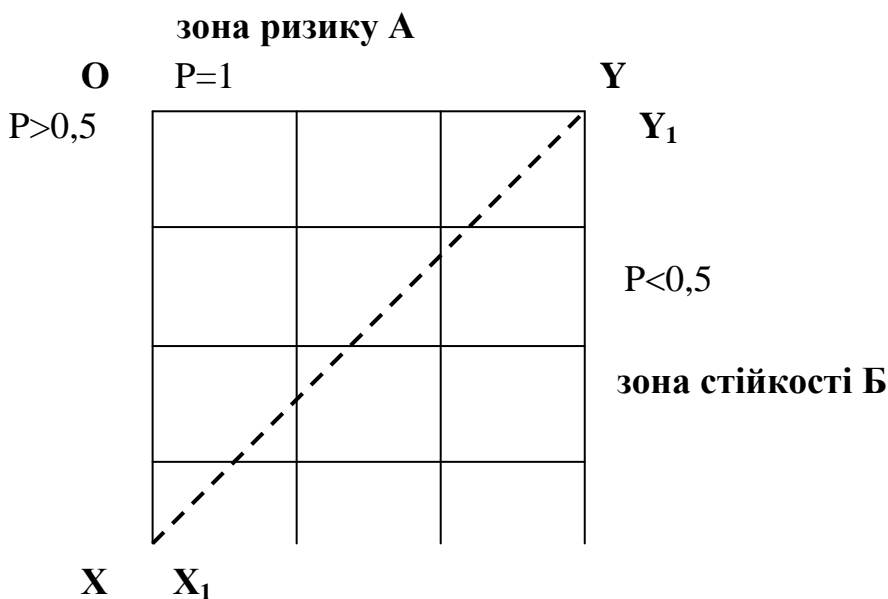


Рис. 1. Гіпотетична енергетична матриця $n \times n$ кореневої системи сосни звичайної

- P=1 - при пошкодженні кореневої шийки О імовірність загибелі дорівнює 1;
- P<0,5 – імовірність загибелі рослин при пошкодженні коренів низька;
- P>0,5 – імовірність загибелі рослин при пошкодженні коренів висока.

Найбільш оптимальними є способи пошуку у зоні Б маршрутів переходів $X_1 \rightarrow Y_1$ по сторонах квадратів. За різної розмірності матриці $n \times n$ можлива різна кількість сценаріїв переходу (табл. 1).

Табл. 1. Кількість сценаріїв переходу $X_I \rightarrow Y_I$ в енергетичній матриці $n \times n$ (із заборонаю руху за діагоналями квадратів)

Розмірність матриці $n \times n$	Число сценаріїв переходу $X_I \rightarrow Y_I$	
	не досягаючи рівня <i>тах</i> пошкодження	досягаючи рівня <i>тах</i> пошкодження, але не перетинаючи його
1	1	-
2	1	2
3	2	5
4	5	14
5	4	35
6	42	132

Числова послідовність кількості переходів, що не торкаються лінії максимального пошкодження є послідовністю чисел Каталане (ЧК), які визначаються як кількість монотонних шляхів у квадратній матриці $n \times n$ з одного кута у інший, не перетинаючих діагональ.

Графічна залежність розмірності матриці від ЧК наведена на рис. 2. З неї видно, що за значної маси кореневої системи ($n > 6$), маса личинок, які живляться на ній не лімітує виживання рослини. Це доводиться зниженням рівня нахилу кривої і поступовим виходом її на плато за великих значень ЧК (наприклад, 42).

Спеціальним випадком є розгляд варіанта пошкодження кореневої системи личинками першого покоління (L_1), у раціоні яких у значній мірі присутній гумус і біомаса яких дуже незначна. У цьому разі можливо використовувати метод проходження енергетичних квадратів зони Б не тільки по їх сторонах, але й за діагоналями (табл. 2).

Табл. 2. Кількість сценаріїв переходу $X_I \rightarrow Y_I$ в енергетичній матриці $n \times n$ (з можливістю руху за діагоналями квадратів)

Розмірність матриці $n \times n$	Число сценаріїв переходу $X_I \rightarrow Y_I$	
	не досягаючи рівня <i>тах</i> пошкодження	досягаючи рівня <i>тах</i> пошкодження, але не перетинаючи його
1	2	3
2	4	13
3	12	63

Графічна візуалізація залежності кількості переходів від розмірності матриці представлена на рис. 3.

Важливо відмітити, що критичну точку кривої $f(x)$ доцільно визначати як точку через яку проводиться дотична, що забезпечує найменшу похибку при визначенні похідної, що, в свою чергу, визначає нахил за формулою $f'(x)=tg\alpha$, де α – кут, утворений дотичною з додатнім напрямком ОХ. Оптимумом буде 45° . Крайні точки відкидаємо. Отже, дотична до кривої $f(x)$ у нашому випадку співпадає (або дуже наближене до нього) з оптимальним значенням на відрізку $n \in [1;2]$ за кількості сценаріїв переходу $X_I \rightarrow Y_I$ 4 ($\alpha=45^\circ$; $tg\alpha=1$) [3, 10]. Це з одного боку свідчить, що при $n>3$ рівні шкідливості для кореневої системи сосни не будуть мати сенсу, а з іншого визначає максимальну масу личинок, що може використати трофічний ресурс зони Б не викликаючи загибелі рослини.

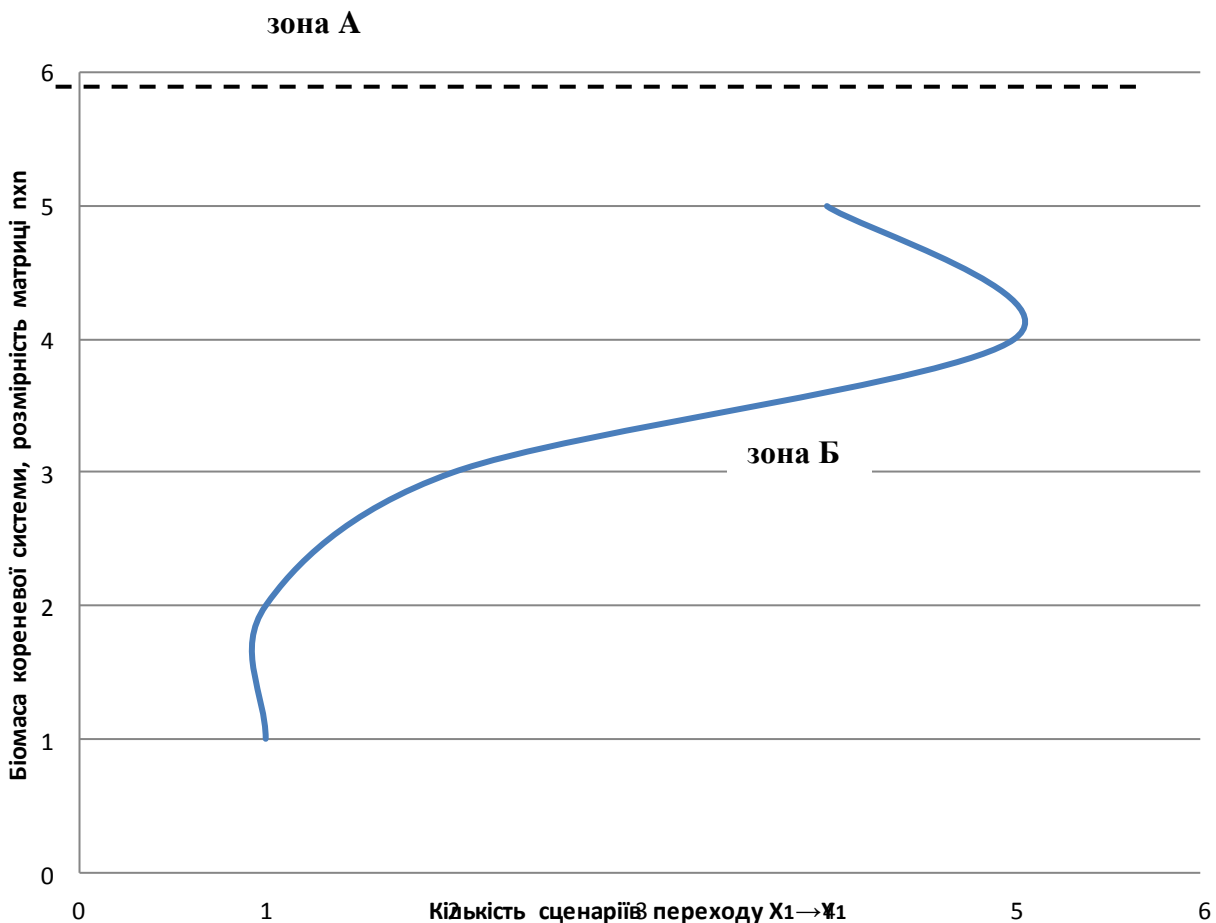


Рис. 2. Залежність кількості можливих переходів $X_I \rightarrow Y_I$ (із заборонаю руху за діагоналями енергетичних квадратів в зоні стійкості) від біомаси кореневої системи сосни звичайної

Повертаючись до рис. 2 так само відкидаємо крайні точки і визначаємо, що кут нахилу дотичної найбільш наближений до 45° в інтервалі [3;4]. Отже, мінімальна розмірність матриці 3×3 , максимальна 6×6 . В цьому випадку зона Б здатна витримати тиск 4-х одиниць маси личинок пластинчастовусих. Для $n=3$ – 4 одиниці маси личинок молодшого віку (L_1), для $n=6$ – 4-5 одиниць маси личинок старшого віку ($L_2; L_3$). Різниця пояснюється збільшенням у останніх частки рослинного живлення.

Звідси виводимо порогові значення співвідношення «біомаса кореневої системи : біомаса личинок пластинчастовусих»:

$$6 : 3-4 = 1,71 \text{ для личинок } L_1;$$

$$3 : 4 = 0,75 \text{ для личинок } L_2 \text{ та } L_3.$$

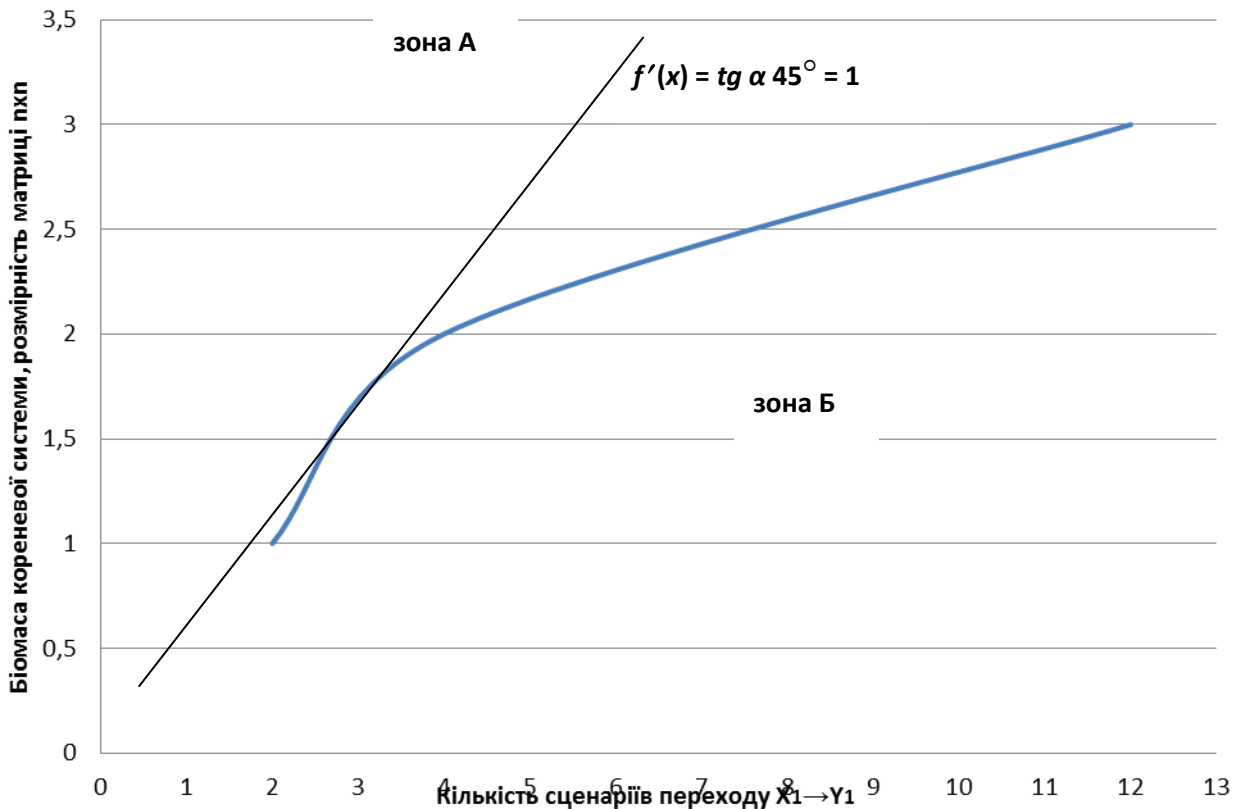


Рис. 3. Залежність кількості переходів $X_I \rightarrow Y_I$ (із можливістю руху за діагоналями енергетичних квадратів в зоні стійкості) від біомаси кореневої системи сосни звичайної

Формалізація прямої на якій лежить відрізок $[L_2-L_3; L_1]$, представленої на рис. 4, і є рівнянням порогу шкідливості буде мати вигляд:

$$3x - 0,96y + 0,63 = 0$$

або

$$x = (0,96y - 0,63) / 3,$$

де – x – співвідношення біомаси кореневої системи до біомаси личинок;
 y – біомаса кореневої системи.

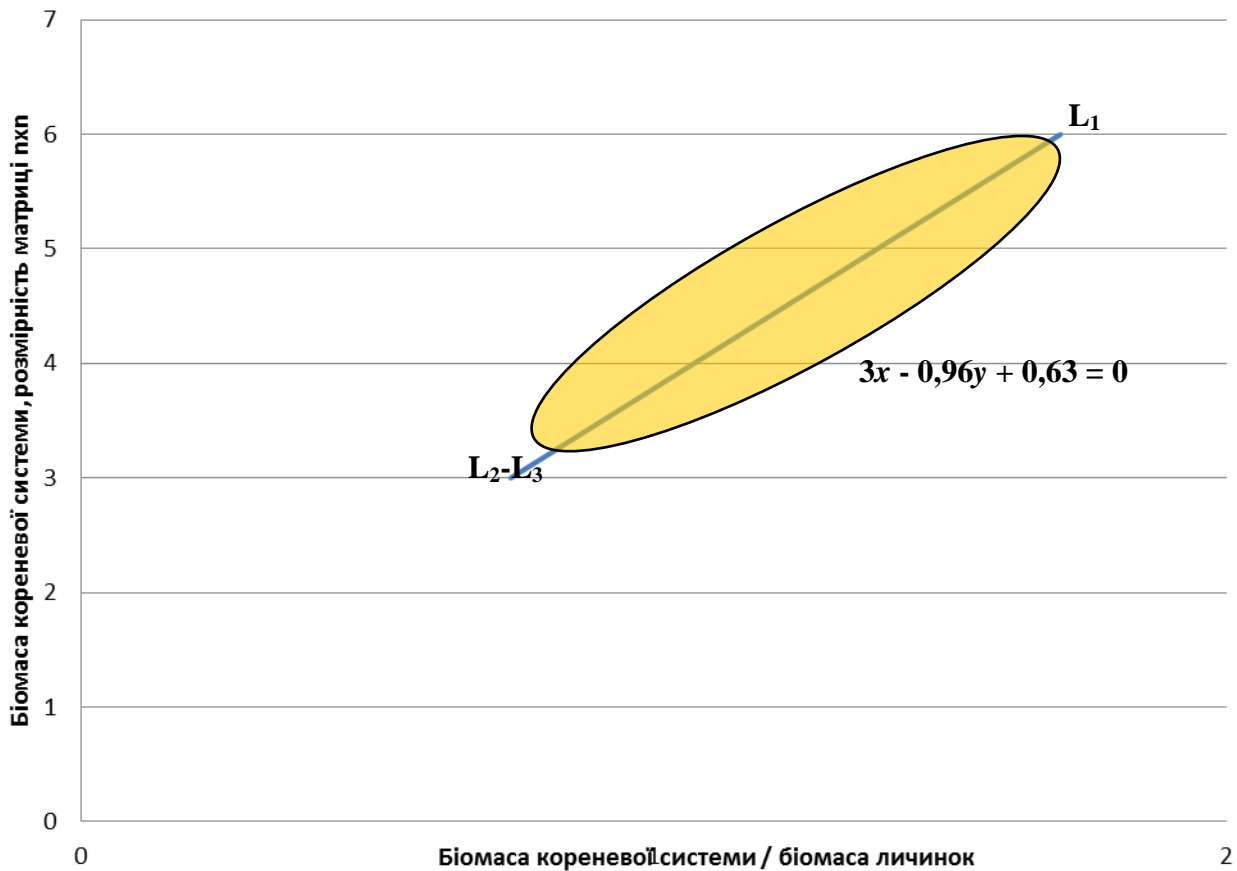


Рис. 4. Порогові значення співвідношень біомаси кореневої системи сосни звичайної та личинок різного віку пластинчастовусих жуків

Висновки. Кореневу систему сіянців деревних порід гіпотетично можна уявити як матрицю розмірністю $n \times n$. В межах матриці існує рівень максимального пошкодження і дві зони: А – ризику і Б – адаптивності. Використання трофічного ресурсу адаптивної зони Б личинками пластинчастовусих фітофагів можна за допомогою методів комбінаторики уявити як маршрут проходження через енергетичні квадрати матриці. Адаптивна зона енергетичної матриці кореневої системи сосни звичайної розмірністю 3×3 та 6×6 може витримати тиск 4-х одиниць маси личинок західного та східного травневих хрущів першого віку та 4-5 другого – третього віків відповідно. Різниця у ємності адаптивної частини матриці залежить від частки рослинного живлення у личинок травневих хрущів різного віку. Порогове значення співвідношення біомаси кореневої системи

дворічних сіянців сосни звичайної та личинок пластинчастовусих фітофагів становить 1,71 для личинок першого і 0,75 – для личинок другого та третього віків.

Література

1. Бровко Ф.М. Особливості відтворення сосни звичайної у Ковельському лісництві Д.П. «Ковельське ЛГ». *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України : Серія: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2014. Вип. 198, ч.2. С. 83-87.
2. Вірченко Н.О., Ляшко І.І. Графіки елементарних та спеціальних функцій: довідник. Київ: Наукова думка, 1996. 584 с.
3. Головянко З. И. Образ жизни хрущей (*Melolontha h.* и *Polyphylla f.*) в Хреновском бору Воронежской губ. II. Развитие и состояние корневой системы, как условие успешного развития сосен. (Оттиски из Трудов по Лесному Опытному делу, вып. XX I. 1909 г. С.-Петербург: Тип. М.А. Александрова, 1909. 1 л. тит. л., 140 с.
4. Головянко З.С. Причины усыхания сосновых насаждений. Київ: Издательство АН Украинской ССР, 1949. 44 с.
5. Жирмунский А.В., Кузьмин В.И. Критические уровни в развитии природных систем. Ленинград: Наука, 1990. 223 с.
6. Зборовська О.В., Краснов В.П., Ландін В.П., Захарчук В.А. Радіальний приріст сосни звичайної на моренних відкладах житомирського Полісся. *Агроекологічний журнал*. 2018. №1. С. 7-13.
7. МакГі Г. Лісовий екосистемний менеджмент: нова парадигма збереження лісового біорізноманіття: науковий огляд. Київ: ТОВ «Статус-Профі», 2018. 40 с.
8. Пузріна Н.В., Бойко Г.О. Сучасні методи інтенсифікації вирощування садивного матеріалу сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.). *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України : Серія: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2014. Вип. 198, ч.2. С. 209-214.
9. Савченко Ю.М. Оптимізація морфометричних показників сіянців рослин сосни звичайної. *Вісник аграрної науки*. 2016. №8. С. 47-51.
10. Фокін А.В. Грунтові фітофаги: енергетична концепція визначення рівнів та порогів шкідливості. Київ: Видавництво «Колобіг», 2008. 152 с.
11. Фокін А.В. Оптимізація структури захисту рослин від шкідників. Київ: Видавництво «Колобіг», 2011. 144 с.

12. Otway S.J., Hector A., Lawton J.H. Resource dilution effects on specialist insect herbivores in a grassland biodiversity experiment. *J. Anim. Ecol.* 2005. 74. №2. pp. 234-240.

References

1. Brovko F.M. Features of reproduction of pine in the Kovel forestry DP Kovelske LH. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: Series: Forestry and Ornamental Horticulture. 2014. Vol. 198, part 2. pp. 83–87.

2. Virchenko NO , Lyashko II Graphs of elementary and special functions: a directory. Kiev: Scientific Thought, 1996. 584 p.

3. Golovyanko Z. I. Lifestyle of Khrushchev (Melolontha h. And Polyphylla f.) In the Khrenovsky forest of Voronezh Bay. II. The development and condition of the root system, as a condition for the successful development of pines. (Impressions from Proceedings of the Forest Experimental Business, issue XX. 1909. St. Petersburg: Typ. M.A. Aleksandrova, 1909. 1 p. Tit. L., 140 p.

4. Golovyanko Z.S. The reasons for the drying of pine plantations. Kiev: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1949.44 p.

5. Zhirmunsky A.V., Kuzmin V.I. *Critical levels in the development of natural systems*. Leningrad: Nauka, 1990.223 p.

6. Zborovskaya OV, Krasnov VP, Landin VP, Zakharchuk VA Radial growth of common pine on moraine sediments of Zhytomyr Polesie. *Agro-ecological journal*. 2018. №1. Pp. 7-13.

7. McGee G. Forest ecosystem management: a new paradigm for forest biodiversity conservation: a scientific review. Kyiv: Status-Profi LLC, 2018. 40 p.

8. Puzrina NV, Boyko GO Modern methods of intensification of growing pine (*Pinus sylvestris* L.) planting material. Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: Series: Forestry and Ornamental Horticulture. 2014. Vol. 198, part 2. S. 209-214.

9. Savchenko Yu.M. Optimization of morphometric parameters of seedlings of pine plants. Bulletin of agrarian science. 2016. №8. Pp. 47-51.

10. Fokin AV Soil phytophages: an energy concept for determining levels and thresholds of harmfulness Kyiv: Kolobig Publishing House, 2008. 152 p.

11. Fokin AV Optimization of the structure of plant protection against pests. Kiev: Kolobig Publishing House, 2011. 144 p.

12. Otway S.J., Hector A., Lawton J.H. Resource dilution effects on specialist insect herbivores in a grassland biodiversity experiment. *J. Anim. Ecol.* 2005. 74. №2. pp. 234-240.

Аннотация

Коренчук Е., Фокин А.В., Дрозда В.Ф.

Пороговое уравнение вредоносности личинок пластинчатоусых фитофагов

Современные разработки относительно пороговых значений численности почвенных фитофагов в агроценозах наиболее часто основываются на энергетических показателях расчетной потребности, потребления и усвоения трофических ресурсов, биомассы фитофага и растения. Проблема определения валидных пороговых значений нагрузки личинок хрущей на лесные культуры значительно осложняется многолетним характером последних. Для определения уровня вредности почвенных фитофагов важно оценить при какой численности личинок различного возраста двухлетний сеянец сосны обыкновенной способен выжить на протяжении критического периода – периода трофической активности вредителя. Предложена модель порогов вредоносности личинок пластинчатоусых фитофагов, построенная на основе принципов комбинаторики, допуская, что корневую систему сеянцев древесных пород можно представить как энергетическую матрицу размерностью $n \times n$, включающую две трофические зоны: риска и адаптивную (устойчивости) и уровень максимального повреждения. Потребление трофического ресурса адаптивной зоны личинками пластинчатоусых фитофагом представляется как маршрут прохождения через энергетические квадраты матрицы (через определение количества возможных маршрутных сценариев). Установлено, что зона адаптации энергетической матрицы корневой системы сосны обыкновенной размерностью 3×3 и 6×6 может выдержать давление 4-х единиц массы личинок западного и восточного майских хрущей первого возраста и 4-5 второго – третьего возрастов соответственно. Различия в емкости адаптивной части матрицы зависят от доли растительной составляющей питания личинок майских жуков различного возраста. Для определения пороговых уровней использовали метод представления хода зависимости в виде отрезков прямых. При этом переход одного линейного участка в другой характеризует критическую точку. Определены пороговые значения соотношения биомассы корневой системы двухлетних сеянцев сосны обыкновенной и личинок пластинчатоусых фитофагов – 1,71 для личинок первого и 0,75 – для личинок второго и третьего возрастов.

Ключевые слова: *почвенные вредители, трофические ресурсы, питание личинок, максимальный уровень вредоносности, биомасса, корневая система, сосна обыкновенная, сеянцы древесных пород.*

Annotation

Korenchuk E., Fokin A.V., Drozd V.F.

Threshold equation for the harmfulness of larvae of plate phytophages

Modern developments regarding the threshold values of the number of soil phytophages in agrocenoses are most often based on energy indicators of the estimated need, consumption and assimilation of trophic resources, phytophage and plant biomass. The

problem of determining valid threshold values of the load of larvae of larvae on forest crops is significantly complicated by the long-term nature of the latter. To determine the level of harmfulness of soil phytophages, it is important to assess at what number of larvae of different ages a two-year-old seedling of common pine is able to survive during the critical period - the period of trophic activity of the pest. A model of thresholds for harmfulness of larvae of phytophage phytophages, based on the principles of combinatorics, is suggested, assuming that the root system of seedlings of tree species can be represented as an energy matrix of dimension $n \times n$ that includes two trophic zones: risk and adaptive (resistance) and the level of maximum damage. The consumption of the trophic resource of the adaptive zone by larvae of the lamellar phytophage is represented as the route through the energy squares of the matrix (by determining the number of possible route scenarios). It was established that the zone of adaptation of the energy matrix of the pine root system with an ordinary dimension of 3×3 and 6×6 can withstand the pressure of 4 units of mass of larvae of the western and eastern May chrysanthemums of the first age and 4-5 of the second and third ages, respectively. The differences in the capacity of the adaptive part of the matrix depends on the proportion of the plant component of nutrition of larvae of May beetles of different ages. To determine the threshold levels, we used the method of representing the dependence in the form of straight lines. Moreover, the transition of one linear section to another characterizes the critical point. The threshold values of the ratio of the biomass of the root system of two-year-old seedlings of Scots pine and larvae of lamellar phytophages were determined - 1.71 for larvae of the first and 0.75 for larvae of the second and third ages.

Key words: soil pests, trophic resources, feeding of larvae, maximum weediness, biomass, root system, Scotch pine, seedlings of tree species.