

УДК 574.42

© І. Л. Михайленко, О. М. Сметана

## ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ВИВЧЕННІ ДИНАМІКИ КОНСОРЦІЙНОЇ ЕКОСИСТЕМИ

*Криворізький ботанічний сад НАН України  
50089, м. Кривий Ріг, вул. Маршака, 50; e-mail: botgard@ukrpost.ua.*

**Михайленко І. Л., Сметана О. М. Використання математичних моделей при вивченні динаміки консорційної екосистеми.** – Вивчення динаміки консорційних екосистем зелених насаджень міст є основою для розробки заходів з оптимізації їх фітосанітарного стану. Використання динамічних моделей при цьому забезпечує відображення залежностей структури консорційної екосистеми від етапу онтогенезу детермінанту, а також виявлення критичних етапів у розвитку консорційних екосистем, прогнозу їх подальшого існування та розробки плану заходів боротьби з небезпечними консортами.

*Ключові слова:* консорційна екосистема, динаміка, онтогенез, морфологічні параметри, бінарна модель, матриця.

**Михайленко И. Л., Сметана А. Н. Использование математических моделей при изучении динамики консорсионной экосистемы.** – Изучение динамики консорсионных экосистем зеленых насаждений городов является основой для разработки мероприятий по оптимизации их фитосанитарного состояния. Использование динамических моделей при этом обеспечивает отображение зависимостей структуры консорсионной экосистемы от этапа онтогенеза детерминанта, а также выявление критических этапов в развитии консорсионных экосистем, прогноза их дальнейшего существования и разработки плана мероприятий по борьбе с опасными консортами.

*Ключевые слова:* консорсионная экосистема, динамика, онтогенез, морфологические параметры, бинарная модель, матрица.

### Вступ

Одним із пріоритетних напрямків оптимізації рекреаційних зон міст є управління фітосанітарним станом їх зелених насаджень через регулювання щільності популяцій небезпечних фітофагів та створення оптимальних умов для розвитку їх природних регуляторів. Реалізація такого напрямку потребує інформації щодо динаміки консорційних екосистем видів, що входять до зелених насаджень міста.

Загальновідомо, що консорційна екосистема є складною динамічною системою, яка змінюється в часі і просторі під впливом динаміки детермінанту [5]. Питанню вивчення динаміки консорцій приділяли увагу багато вчених. Зокрема, Е. М. Лавренко [9] вперше звернув увагу на те, що при вивченні консорцій необхідно брати до уваги віковий склад популяцій їх центральних особин, тому що вікові зміни ядра консорції визначають розвиток її структурної та функціональної складової. Він зазначив, що на розвиток консорційної екосистеми впливають такі вікові зміни детермінанту:

- 1) зміна з віком маси підземних і надземних органів, а також щорічного приросту і опаду детермінанту;
- 2) вікові зміни хімічного складу, морфологічної та анатомічної структури органів детермінанту, що визначає можливість їх використання певними видами консортів;
- 3) збільшення при старінні детермінанту маси відмерлих органів і зміна їх хімічного складу;
- 4) лише з особинами, які мають генеративні органи, пов'язана група консортів, що використовує пилок, плоди та насіння детермінанту;
- 5) з віком детермінанту змінюється ураженість їх грибковими та іншими паразитами;
- 6) у зв'язку зі збільшенням з віком висоти ядра консорції і глибини його укорінення відбувається переміщення його органів в інші горизонти середовища, де спостерігаються інші екологічні умови для існування консортів.

Класифікацію видів динаміки консорцій запропонували О. О. Корчагін і Т. О. Работнов [14]. Вони виділяють п'ять форм динаміки консорцій: сезонну (пов'язану із сезонними

змiнами компонентiв консорцiї); флуктуацiйну (рiзнорiчнi змiни чисельностi та життєвого стану консортiв); сукцесiйну (пов'язану з сукцесiєю рослинних угруповань); онтогенетичну (пов'язану з онтогенетичним розвитком ядра консорцiї) та еволюцiйну.

Щодо моделювання динамiки консорцiї, то в лiтературi не зустрiчається таких даних. Вченi бiльше уваги придiляли структурнiй органiзацiї консорцiйних екосистем. Так, у 1968 р. В. В. Мазингом [10] була розроблена перша схема консорцiї, далi подiбнi схеми створювались Г. А. Вороновим [4], Б. О. Биковим [3] та В. І. Мальцевим [11], а у 2000 р. В. В. Негроровим та К. Ф. Хмелевим [12] розроблена гетероконцентрова модель консорцiйної екосистеми. Динамiка видового складу консортiв *Plantago lanceolata* L. у ходi онтогенезу детермінанта консорцiї вивчалась М. В. Бекмансуровим [2], але в данiй роботi методи моделювання не використовувались.

Тому метою нашої роботи є розробка моделi динамiки консорцiйної екосистеми. Вона передбачає розв'язання наступних задач: 1) збiр iнформацiї щодо морфологiчних змiн детермінантiв консорцiйних екосистем у процесi їх онтогенезу; 2) визначення закономірностей розподiлу консортiв на рiзних вiкових стадiях розвитку детермінанту; 3) розробка матриць розподiлу консортiв у процесi розвитку детермінанту; 4) розробка фундаментальної моделi динамiки консорцiйної екосистеми.

### **Матерiали i методи досліджень**

Вивчення розвитку консорцiйної екосистеми, в залежностi вiд змiни морфологiчних параметрiв її детермінанту, що визначається певним етапом онтогенезу, проводилось на прикладi трьох видiв – ялини звичайної (*Picea abies* L.), сосни кримської (*Pinus pallasiana* D. Don) та ялiвцю козацького (*Juniperus sabina* L.).

Дослiдження проводилися шляхом аналізу лiтературних даних та на основi власних дослiджень рiзновiкових консорцiй сосни кримської на вiдвалi Першотравневого кар'єру ПАО «ПiвнГЗК» м. Кривого Рогу (5-, 10-, 20- та 36-рiчнi насадження).

Збiр наземної мезофауни як компоненту рiзновiкових консорцiй сосни кримської проводився протягом всього вегетацiйного перiоду (квітень-жовтень) через 10-15 дiб методом модифiкованих пасток Барабера-Гейлера [19]. Дослiдження мезофауни мероконсорцiй крони (гiлок, листя, стовбура) на пробних дiлянках проводилось методом струшування комах зi стовбура, гiлок й листя дерева на полiетиленову плiвку та виявленню характерних пошкоджень. Склад орнiтофауни визначався методом вiзуальних облiкiв птахiв за допомогою оптичних приладiв, маршрутним методом облiку птахiв та методом облiку птахiв за голосами [15]. Деякi хребетнi консорти потрапляли до пасток Барабера-Гейлера (мишовиднi гризуни та рептилiї). Iншi хребетнi консорти були виявленi методом перiодичних спостережень.

### **Результати та їх обговорення**

До основних морфологiчних параметрiв детермінанту автотрофної консорцiї, змiна яких в процесi розвитку прямо або опосередковано впливає на консортiв, ми вiдносимо такi – висота, дiаметр стовбура, глибина коренiв, дiаметр i форма крони та здатнiсть до репродукцiї детермінанту.

Нами була зiбрана та проаналiзована iнформацiя [1, 6-8, 13, 16-18, 20] про змiну морфологiчних параметрiв детермінантiв дослiджуваних нами консорцiй – сосни кримської, ялини звичайної та ялiвцю козацького на всiх вiкових стадiях розвитку. Особливостi морфогенезу сосни кримської, ялини звичайної та ялiвцю козацького наведенi в табл. 1-3. Ця iнформацiя є основою для визначення розподiлу консортiв в процесi розвитку детермінанту.

Спираючись на цi данi нами розробленi бiнарнi моделi розподiлу консортiв вiдповiдно до етапiв розвитку детермінанту, в яких стовпцi вiдображають етапи онтогенезу детермінанту консорцiйної екосистеми, а рядки – певну групу консортiв. Значення «1» вiдповiдає наявностi певної групи консортiв на вiдповiдному етапi розвитку детермінанту, а значення «0» – вiдсутностi.

Таблиця 1

## Особливості морфогенезу сосни кримської

ЕТАП ОНТОГЕНЕЗУ		СХОДИ	ЮВЕНІЛЬНІ	ІМАТУРНІ	ВІРГІНІЛЬНІ	ГЕНЕРАТИВНІ 1	ГЕНЕРАТИВНІ 2	ГЕНЕРАТИВНІ 3	СЕНІЛЬНІ	ВІДМЕРЛІ
Вік детермінанту (роки) $T_d$		$\leq 2$	$\leq 3$	3 – 8-10	8-12 – 15-30	15-30 – 75-85	75-85 – 150-170	$\geq 170$	$\geq 170$	$\geq 170$
МОРФОЛОГІЧНІ ОЗНАКИ	Висота ( $H_d$ ), м	0,07-0,1	$\leq 0,5$	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 24$	$\leq 29$	$\leq 28$	$\leq 28$	28
	Приріст висоти ( $\Delta B_d$ ), м	$\approx 0$	$\approx 0$	0,28	0,35	0,2	0,04	$\approx 0$	$\approx 0$	0
	Діаметр стовбура ( $D_c$ ), м/рік	$\approx 0$	$\leq 0,01$	$\leq 0,02$	$\leq 0,1$	$\leq 0,36$	$\leq 0,07$	$\leq 1,36$	$\leq 1,36$	1,36
	Приріст діаметру ( $\Delta D_{ct}$ ), м/рік	$\approx 0$	$\approx 0$	0,17	0,02-0,034	0,024-0,028	0,016-0,018	$\approx 0$	$\approx 0$	0
	Глибина коренів ( $G_k$ ), м	$\leq 0,6$	0,6-0,8	$\leq 1,2$	$\leq 2$	$\leq 3,5$			$\leq 4$	4
	Діаметр крон ( $D_k$ ), м	$\approx 0$	$\leq 0,5$	$\leq 1,5$	$\leq 3$	$\leq 7$	$\leq 11$	$\leq 12$	$\leq 12$	12
	Порядок гілкування ( $\Pi_r$ )	0	1-2	2-3	4-5	5-8	7-9	8-9	8-9	9
	Репродуктивність ( $P_d$ ), шишок на детермінант	0	0	0	0	10-25	100-300	500-700	$\approx 0$	0
Форма крони ( $\Phi_k$ )	-	трикутна	анізотропна	конусовидна	неправильна конічна гостровершинна	овальна	плосковершинна	-	-	

Таблиця 2

## Особливості морфогенезу ялівцю козацького

ЕТАП ОНТОГЕНЕЗУ		СХОДИ, ЮВЕНІЛЬНІ, ІМАТУРНІ, ВІРГІНІЛЬНІ	ГЕНЕРАТИВНІ 1				ГЕНЕРАТИВНІ 2, 3	СЕНІЛЬНІ	ВІДМЕРЛІ
Вік детермінанту (роки) $T_d$		$< 5$	5	10	20	40	$\geq 50$	$\geq 100$	$\geq 100$
МОРФОЛОГІЧНІ ОЗНАКИ	Висота ( $H_d$ ), м	$< 0,5$	0,5	0,8	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5
	Середній приріст висоти ( $\Delta B_d$ ), м	0,1	0,05				$\approx 0$	$\approx 0$	0
	Діаметр крон ( $D_k$ ), м	$< 0,9$	0,9	1,8	2	2,5	2,5	2,5	2,5
	Середній приріст діаметру крон ( $\Delta D_k$ ), м	0,2	0,15				$\approx 0$	$\approx 0$	0
Форма крони ( $\Phi_k$ )	Округла	Еліпсоподібна							-

Таке відображення розподілу консортів у процесі онтогенезу детермінанту допоможе отримати повну характеристику структури консорційної системи та виявити критичні етапи у її розвитку.

## Особливості морфогенезу ялини звичайної

ЕТАП ОНТОГЕНЕЗУ		СХОДИ	ЮВЕНІЛЬНІ	ІМАТУРНІ	ВІРГІНІЛЬНІ	ГЕНЕРАТИВНІ 1	ГЕНЕРАТИВНІ 2	ГЕНЕРАТИВНІ 3	СЕНІЛЬНІ	ВІДМЕРЛІ
Вік детермінанту (роки) $T_d$		до 2	3 – 5	5 – 6	5-6 – 15-20	15-20 – 80-100	80-100 – 120-150	120-150 – 180	> 180	> 180
МОРФОЛОГІЧНІ ОЗНАКИ	Висота ( $H_d$ ), м	0,01-0,02	0,04-0,11	$\leq 1$	$\leq 8$	$\leq 3 \square$	$\leq 35$	$< 50$	$< 50$	$< 50$
	Приріст висоти ( $\Delta B_d$ ), м	$\approx 0$	0,02- 0,05	0,05-0,3	0,18-0,2	0,5-0,7	0,1-0,15	0,05-0,07	$\approx 0$	0
	Діаметр стовбура ( $D_c$ ), м/рік	$\approx 0$	0,001- 0,012	0,05	$\leq 0,6$	$\leq 1,4$	$\leq 1,7$	$\leq 1,8$	$\leq 1,8$	$\leq 1,8$
	Приріст діаметру ( $\Delta D_{ст}$ ), м/рік	$\approx 0$	$\approx 0$	0,02-0,03	$\square, 05-0,06$	0,01	0,005	$\approx 0$	$\approx 0$	0
	Глибина коренів ( $G_k$ ), м	$\approx 0$	0,01- 0,03	$\leq 0,3$	$\leq 0,6$	$\leq 0,6$			$\leq 0,6$	$\leq 0,6$
	Діаметр крон ( $D_k$ ), м	$\approx 0$	$\approx 0$	$\leq 1$	$\leq 3$	$\leq 6$	$\leq 8$	$\leq 8$	$\leq 8$	$\leq 8$
	Порядок гілкування ( $P_r$ )	0	1-2	2-5	6-8	8	9	10	10	10
	Репродуктивність ( $R_d$ ), шишок на детермінант	0	0	0	0	6-30	31-198	$\geq 198$	$\approx 0$	0
	Форма крони ( $\Phi_k$ )	-	-	зонтико- подібна / широко- пірамідальна	вузько- пірамідальна	вузько- конічна	широко- конічна	пірамідально- циліндрична з тупою вершиною	-	-

У табл. 4 наведений розподіл консортів за таксономічною класифікацією в процесі онтогенезу детермінанту. Щодо фауністичних складових консорцій, то система є повночленною з третього по останній етап розвитку детермінанту, перші два етапи є не стабільними. Участь ліхенокомплексів взагалі є незначною.

Розподіл консортів за ценотичною класифікацією наведений в табл. 5. Ценотичний розподіл консортів показує, що стабільна консорційна екосистема, з характерними для неї сільвантами, формується лише на третьому етапі розвитку консорції і зберігає стабільність до кінця її існування.

Розподіл консортів за характером живлення наведено в табл. 6. Розподіл консортів за характером живлення найбільш рівномірний, нестабільними є лише перший та останній етапи розвитку детермінанту, що пов'язано, в першому випадку з незначною біомасою детермінанту, в другому – з відсутністю живої фітомаси детермінанту.

У табл. 7 відображена залежність розподілу консортів за морфо-екологічною класифікацією в процесі онтогенезу детермінанту. На третьому етапі розвитку детермінанту консорції формується повний комплекс консортів, що існують у різних стратоценозах. Зміна розподілу консортів на останньому етапі розвитку детермінанту, зумовлена припиненням всіх біологічних процесів та в певних умовах переміщенням детермінанту в наземний горизонт.

У табл. 8 відображений розподіл консортів за класифікацією по типам зв'язків з детермінантом в процесі онтогенезу детермінанту. Такий розподіл дозволяє нам визначити критичні моменти в розвитку консорційної екосистеми. Так, на третьому етапі розвитку детермінанту вселяються облігатні трофічні консорти. Ця група консортів включає небезпечних фітофагів, що загрожують стану зелених насаджень.

Модель розподілу консортів за їх ієрархією в системі в процесі онтогенезу детермінанту (табл. 9) відображає рівномірне збільшення консортів у процесі розвитку детермінанту за оптимальних умов. Використання даної моделі допоможе визначити розвиток консорційної екосистеми при випадінні консорту певного порядку.

Таблиця 4

**Модель розподілу консортів у процесі онтогенезу за таксономічною класифікацією**

Стадія онтогенезу детермінанту Група консортів	s	j	im	v	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	s	post d
Ентомоконсорти	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Орнітоконсорти	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Теріоконсорти	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Батрахоконсорти	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Герпетоконсорти	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Бріоконсорти	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Ліхеноконсорти	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Мікоконсорти	0	0	1	1	1	1	1	1	1

Примітка. s – сходи; j – ювенільні особи; im – іматурні особи; v – віргінільні особи; g<sub>1</sub> – прегенеративні особи; g<sub>2</sub> – генеративні особи; g<sub>3</sub> – постгенеративні особи; s – сенільні особи; post d – відмерлі особини. Ентомоконсорти – консорти представники класів *Gastropoda*, *Clitellata*, *Crustacea*, *Myciropoda*, *Arachnida*, *Insecta*; Орнітоконсорти – консорти представники класу *Aves*; Теріоконсорти – консорти представники класу *Mammalia*; Батрахоконсорти – консорти представники класу *Amphibia*; Герпетоконсорти – консорти представники класу *Reptilia*; Бріоконсорти – консорти представники відділу  *Bryophyta*; Ліхеноконсорти – консорти представники відділу *Lichenes*; Мікоконсорти – консорти представники царства *Fungi*.

Таблиця 5

**Модель розподілу консортів у процесі онтогенезу за ценотичною класифікацією**

Стадія онтогенезу детермінанту Група консортів	s	j	im	v	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	s	post d
Степанти	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Сильванти	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Пратанти	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Полюданти	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Пратанти-сильванти	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Примітка. Стадії онтогенезу детермінанту (див. примітку до табл. 4). Степанти – степові види тварин; Сильванти – лісові види тварин; Пратанти – лугові види тварин; Полюданти – болотні види тварин; Пратанти-сильванти – лучно-лісові види тварин.

Таблиця 6

**Модель розподілу консортів у процесі онтогенезу за характером живлення**

Стадія онтогенезу детермінанту Група консортів	s	j	im	v	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	s	post d
Фітофаги	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Зоофаги	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Поліфаги	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Сапрофаги	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Некрофаги	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Копрофаги	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Примітка. Стадії онтогенезу детермінанту (див. примітку до табл. 4). Фітофаги – рослиноїдні тварини; Зоофаги – організми, що живляться тваринною їжею; Поліфаги – організми, що живляться різноманітними кормами, але не всеїдні, а, як правило, віддають перевагу групі кормів певної категорії; Сапрофаги – тварини, які живляться органічними речовинами, що розкладаються; Некрофаги – організми, які живляться мертвими тваринами; Копрофаги – організми, що живляться екскрементами.

Таблиця 7

**Модель розподілу консортів у процесі онтогенезу за морфо-екологічною класифікацією**

Стадія онтогенезу детермінанту / Група консортів	s	j	im	v	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	s	post d
Атмобіонти	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Гемібіонти	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Педобіонти	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Геміпедобіонти	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Атмогемібіонти	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Атмопедобіонти	0	0	1	1	1	1	1	1	0

Примітка. Стадії онтогенезу детермінанту (див. примітку до табл. 4). Атмобіонти – види тварин, що населяють верхній шар підстилки і здатні підійматися на нижні частини рослин; Гемібіонти – види тварин, що мешкають у підстилці; Педобіонти – види тварин, що мешкають у ґрунті, беруть участь в розкладанні органічних залишків, утворенні гумусу, фіксації азоту і т.д.; Геміпедобіонти, Атмогемібіонти, Атмопедобіонти – відповідно групи тварин, які можуть існувати в двох середовищах.

Таблиця 8

**Модель розподілу консортів у процесі онтогенезу за класифікацією типів зв'язків з детермінантом**

Стадія онтогенезу детермінанту / Група консортів	s	j	im	v	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	s	post d
ФЗ <sub>троф</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ФЗ <sub>топ</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ФЗ <sub>фабр</sub>	0	0	1	1	1	1	1	1	1
ФЗ <sub>фор</sub>	0	0	0	0	1	1	1	1	0
ОЗ <sub>троф</sub>	0	0	1	1	1	1	1	1	1
ОЗ <sub>топ</sub>	0	0	1	1	1	1	1	1	1
ОЗ <sub>фабр</sub>	0	0	0	1	1	1	1	1	1
ОЗ <sub>фор</sub>	0	0	0	0	1	1	1	1	0

Примітка. Стадії онтогенезу детермінанту (див. примітку до табл. 4). ФЗ – факультативні зв'язки (тимчасові зв'язки консортів з детермінантом); ОЗ – облігатні зв'язки (постійні зв'язки консортів з детермінантом); З<sub>троф</sub> – трофічні зв'язки (використання консортами детермінанта в якості джерела енергії та елементів мінерального живлення); З<sub>топ</sub> – топічні зв'язки (використання консортами детермінанта як місця існування); З<sub>фабр</sub> – фабричні зв'язки (використання консортами детермінанта як матеріалу для влаштування гнізд, сховищ); З<sub>фор</sub> – форичні зв'язки (перенесення консортами пилку і діаспор детермінанту).

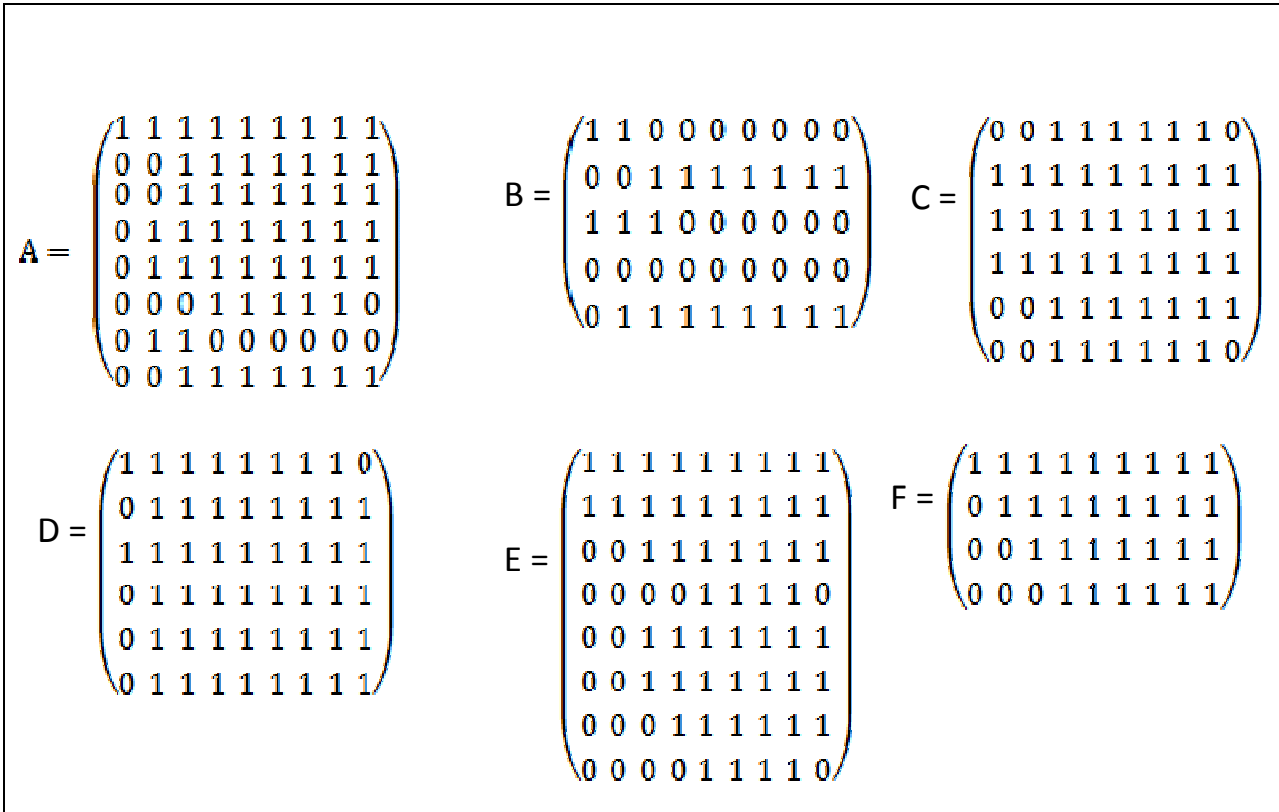
Таблиця 9

**Модель розподілу консортів у процесі онтогенезу за їх ієрархією в системі**

Стадія онтогенезу детермінанту / Група консортів	s	j	im	v	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	s	post d
Консорти 1 порядку	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Консорти 2 порядку	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Консорти 3 порядку	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Консорти 4 порядку	0	0	0	1	1	1	1	1	1

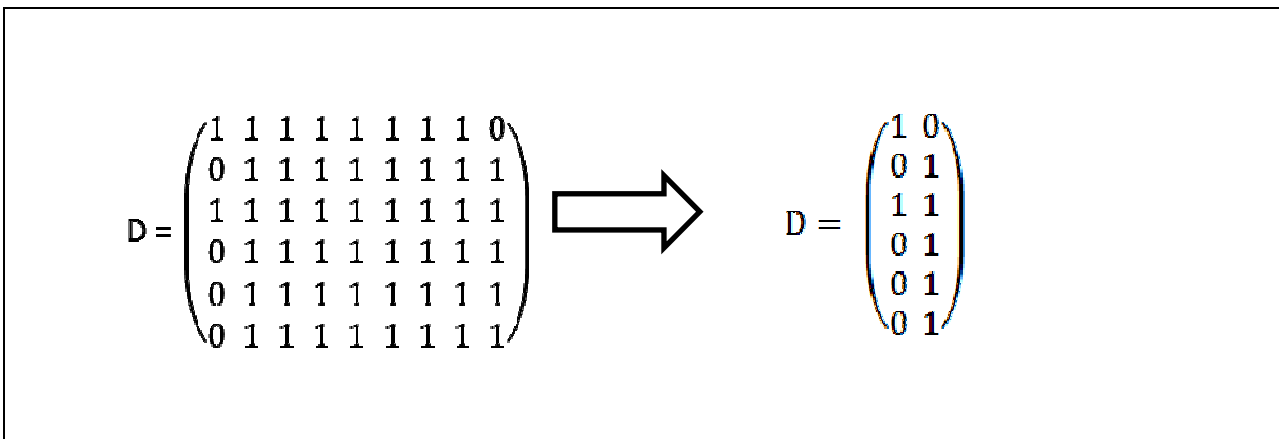
Примітка. Стадії онтогенезу детермінанту (див. примітку до табл. 4). Консорти 1 порядку – консорти, які безпосередньо пов'язані з детермінантом; Консорти 2 порядку – консорти, що пов'язані тими чи іншими зв'язками з консортами 1 порядку; Консорти 3 порядку – консорти, що пов'язані тими чи іншими зв'язками з консортами 2 порядку; Консорти 4 порядку – консорти, що пов'язані тими чи іншими зв'язками з консортами 3 порядку.

Розроблені моделі можна відобразити одиничними матрицями (рис. 1). Деякі стовпці матриць не відрізняються між собою і є однотипними, тобто груповий склад консортів не змінюється протягом декількох етапів онтогенезу, тому їх можна представити в редукованому вигляді, що дозволить зосередити увагу на відмінних елементах матриць. На рис. 2 показана редукція матриці розподілу консортів за характером живлення в процесі онтогенезу детермінанту. Як видно з рис. 2, розподіл консортів змінюється лише на першому на останньому етапі розвитку детермінанту.



**Рис. 1. Матриці розподілу консортів у процесі онтогенезу детермінанту консортивної екосистеми**

- A. Матриця розподілу консортів у процесі онтогенезу за таксономічною класифікацією;
- B. Матриця розподілу консортів у процесі онтогенезу за ценотичною класифікацією;
- C. Матриця розподілу консортів у процесі онтогенезу за морфо-екологічною класифікацією;
- D. Матриця розподілу консортів у процесі онтогенезу за характером живлення;
- E. Матриця розподілу консортів у процесі онтогенезу за класифікацією типів зв'язків з детермінантом;
- F. Матриця розподілу консортів у процесі онтогенезу за їх ієрархією в системі.



**Рис. 2. Приклад редукції матриці розподілу консортів за характером живлення в процесі онтогенезу детермінанту (D)**

Загальну модель розвитку консорційної екосистеми можна представити у вигляді безкінечної кривої. За основу побудови моделі взята модель адаптивного циклу К. С. Холлінга [21]. Модель відображає 4 етапи розвитку консорційної екосистеми: 1 – зростання, під час якого відбувається формування структури консорції; 2 – збереження, який характеризує динамічно-рівноважний стан системи; 3 – вивільнення, під час якого відбувається поступова деградація системи; 4 – реорганізація, що проявляється в переході до іншої системи. Осі X та Y відображають відповідно структурну та функціональну складову консорційної екосистеми. 1 етап (зростання) включає ювенільний та імагурний етапи онтогенезу детермінанту коонсорції, 2 (збереження) – віргінільний та молодий генеративний, 3 (вивільнення) – другий та третій генеративний етапи розвитку детермінанту, четвертий (реорганізація) – етап існування консорції після відмирання детермінанту.



Рис. 3. Модель розвитку консорційної екосистеми

### Висновки

1. Результати моделювання динаміки консорційних екосистем видів, що входять до зелених насаджень урбоекосистем, можна використовувати для оцінки стану зелених насаджень міста, визначення критичних періодів в їхньому розвитку, прогнозу їх подальшого існування та розробки плану заходів боротьби з небезпечними консортами.

2. Вікові зміни морфологічних параметрів детермінанту визначають розподіл консортів у консорційній екосистемі.

3. Бінарні моделі розподілу консортів у процесі онтогенезу детермінанту дають повну характеристику структури консорційної екосистеми та дозволяють виявити критичні етапи в її розвитку.

4. Загальна модель розвитку консорційної екосистеми, що має вигляд безкінечної кривої, відображає 4 умовні етапи розвитку консорційної екосистеми: зростання, збереження, вивільнення й реорганізація та виражає зміни структурної та функціональної складових консорційної екосистеми.



### Список літератури

1. Андрушко Т. Р. Оценка эффективности использования можжевельника казацкого для озеленения склонов в условиях степи / Т. Р. Андрушко, А. В. Терешкин // Весник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 9 (83). – С. 40–42.
2. Бекмансуров М. В. Динамика видового состава консортов *Plantago lanceolata* L. в ходе онтогенеза детерминанта консорции / М. В. Бекмансуров // Онтогенез и популяция. – 2001. – С. 59–61.
3. Быков Б. А. Фитоценоз как саморегулирующаяся система / Б. А. Быков // Весник АН КазССР. – 1967. – № 1. – С. 29–37.
4. Воронов А. Г. Роль консорций в биогеоценозе / А. Г. Воронов // Бюллетень МОИП. Отд. биологии. – 1973. – Т. 78, № 3. – С. 157–159.
5. Голубець М. А. Консорція як елементарна екологічна система / М. А. Голубець, Ю. М. Чорнобай // Укр. бот. журн. – 1983. – 40, № 6. – С. 23–28.
6. Евстигнеев О. И. Онтогенез сосны обыкновенной в разных экологических условиях Неруссо-Деснянского полесья / О. И. Евстигнеев, Н. А. Татаренкова. Деп. в ВНИИЦлесресурс. – 1995. – № 933-ЛХ. – 55 с.
7. Жукова Л. А. Онтогенетический атлас растений. Т. V / Л. А. Жукова. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2007. – 372 с.
8. Князева С. Г. Изменчивость морфологических признаков сибирских видов можжевельника / С. Г. Князева // Лесоведение. – 2007. – № 1. – С. 65–69.
9. Лавренко Е. М. Основные закономерности растительных сообществ и пути их изучения / Е. М. Лавренко // Полевая геоботаника. – М.–Л.: АН СССР, 1959. – Т. 1. – С. 13–75.
10. Мазинг В. П. Консорции как элементы функциональной структуры биоценозов / В. П. Мазинг // Тр. МОИП. – 1966. – Т. 27. – С. 117–126.
11. Мальцев В. И. Детерминирующая роль центрального вида консорции (на примере консорции манника большого) / В. И. Мальцев // Экология. – 1988. – № 3. – С. 24–29.
12. Негроров В. В. Современные концепции консорциологии / В. В. Негроров, К. Ф. Хмелев // Вестник ВГУ. Сер. хим., биол. – 2000. – С. 118–121.
13. Николаева С. А. Рост и развитие деревьев и древостоев на юге Томской области / С. А. Николаева, Д. А. Савчук // Вестн. Томского гос. ун-та. Биол. – 2009. – № 4 (8). – С. 66–78.
14. Работнов Т. А. О консорциях / Т. А. Работнов // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1970. – Т. 74, № 4. – С. 109–116.
15. Равкин Ю. С. Методические рекомендации по комплексному маршрутному учету птиц / Ю. С. Равкин, И. Г. Челинцев. – М., 1990. – 33 с.
16. Романовский А. М. Онтогенез ели европейской / А. М. Романовский // Ботан. журн. – 2001. – № 2. – С. 200–211.
17. Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений: жизненные формы покрытосемянных и хвойных / И. Г. Серебряков. – М., 1962. – 378 с.
18. Терехов Г. Г. Структура фитомассы и конкурентные отношения культуры ели и лиственного молодняка / Г. Г. Терехов, В. А. Усольцев, А. С. Касаткин // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – XXV, № 3–4. – С. 223–228.
19. Фасулати К. К. Полевое изучение наземных беспозвоночных / К. К. Фасулати. – М.: Высш. шк., 1971. – 424 с.
20. Чистякова А. А. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники / А. А. Чистякова, Л. Б. Заугольнова, И. В. Полтинкина и др. – М.: Изд-во «Прометей», 1989. – Ч. 1. – 102 с.
21. Holling C. S. The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change / C. S. Holling. In: Clark W. C., Munn R. E. (Eds.), Sustainable Development of the Biosphere. – Cambridge University Press, London, 1986. – P. 292–317.

Mykhailenko I. L., Smetana O. M.

USING OF MATHEMATICAL MODELS IN THE STUDY OF CONSORTIA ECOSYSTEM DYNAMICS

Kryvyi Rih Botanical Garden of National Academy of Sciences of Ukraine  
Marshaka Str., 50, Kryvyi Rih, 50089, Ukraine; e-mail: botgard@ukrpost.ua

The ecosystems dynamics regulation is the basis for the phytosanitary state optimization actions for development of urban ecosystems recreation areas. In the article we reveal the actual problem – the consortia modeling theoretical basis. The aim was to develop a fundamental model of consortia ecosystem dynamics, which includes the following steps: information collection on morphological changes of consortia ecosystems determinants during their ontogenesis; identification of consortia distribution patterns at different age stages of the determinant; the development of consortia distribution matrix during the determinant development; and the model creation itself.

We included a list of morphological parameters (taxation parameters, root depth, diameter and shape of the crown and the determinant ability to reproduce) as main determinants of autotrophic consortia due to their abilities to change the consortia. We also built the consortia binary distribution models according to the determinant ontogeny stage. This stages required the analysis of the information about morphogenesis features of three species (*Picea abies* L., *Pinus pallasiana* D. Don, *Juniperus sabina* L.).

The models presentation in the form of single matrices and their reduction revealed the critical consortia ecosystem development stages, whose structural consortia system was not stable. Based on the known adaptive cycle model of C. S. Holling we built a general model of consortia ecosystem dynamics. It reflected the four conditional stages of consortia ecosystems: growth, conservation, release and reorganization. Consortia ecosystem dynamics models created for the green spaces species of urban ecosystems can be used to identify critical periods in their development, to forecast their future existence, and to develop an action plan of dangerous consortia population control.

*Key words:* consortia ecosystem, dynamics, ontogenesis, morphology parameters, binary model, matrix.

**References**

1. Andrushko, T.R., & Tereshkin, A.V. (2011). Evaluating the effectiveness of the use of the *Juniperus sabina* for landscaping slopes in the steppe. Bulletin of the Altai State Agrarian University, 9(83), 40-42.
2. Bekmansurov, M.V. (2001). The dynamics of species composition consorts *Plantago lanceolata* L. during ontogeny determinant consortium. Developmental Biology and population, 59-61.
3. Bykov, B.A. (1967). Phytoceonosis as a self-regulating system. Bulletin of the Academy of Sciences of the KazakhSSR, 1, 29-37.
4. Voronov, A.G. (1973). The role of consortia in biogeocoenose. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Dep. biology, 78(3), 157-159.
5. Holubets, M.A., & Chornobay, Y.M. (1983). Consortia as an elementary ecological system. Ukr. Bot. Journ., 40(6), 23-28.
6. Yevstigneev, O.I., & Tatarenkova, N.A. (1995). Ontogeny of *Pinus sylvestris* in different ecological conditions Nerusso-Desnyansko woodland. Dep. in research and information center on forest resources, 933, 55 p.
7. Zhukova, L.A. (2007). Ontogenetic atlas of plants: a scientific publication. Yoshkar-Ola, 5, 372 p.
8. Knyazev, S.G. (2007). Variability of morphological features of siberian species of juniper. Forest Science, 1, 65-69.
9. Lavrenko, E.M. (1959). Basic laws of plant communities and ways of learning. Field geobotany, 1, 13-75.
10. Masing, V.P. (1966). Consortia as elements of the functional structure of biocenosis. Proceedings of the Society of Naturalists, 27, 117-126.
11. Maltsev, V.I. (1988). Determining role of the central species of consortia (for example consortium of *Glyceria maxima*). Ecology, 3, 24-29.
12. Negrobov, V.V., & Khmelev, K.F. (2000). Modern concepts consortiology. Journ. of the Voronezh State University, Ser. Chemistry, Biology, 118-121.
13. Nikolaeva, S.A., & Savchuk, D.A. (2009). The growth and development of trees and forest stand in the south of Tomsk Region. Bulletin of the Tomsk State University. Biology, 4(8), 66-78.
14. Rabotnov, T.A. (1970). About the consortia. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Dep. biol., 74(4), 109-116.
15. Ravkin, Y.S., & Chelintsev, I.G. (1990). Guidelines for integrated route registration birds. Moscow, 33 p.
16. Romanovsky, A.M. (2001). Ontogeny of *Picea abies* L. Bot. Journ., 2, 200-211.
17. Serebrjakov, I.G. (1962). Ecological morphology of plants: life forms of angiosperms and conifers. Moscow, 378 p.
18. Terekhov, G.G., Usoltsev, V.A., & Kasatkin, A.S. (2008). The structure of biomass and competitive relations culture of spruce and young deciduous trees. Coniferous of boreal zone, 25(3-4), 223-228.
19. Fasulati, K.K. (1971). A field study of terrestrial invertebrates. Moscow, 424 p.
20. Chistyakov, A.A. (1989). Diagnoses and keys age states of forest plants. Trees and shrubs. Moscow, 1, 102 p.
21. Holling, C.S. (1986). The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change. Sustainable development of the biosphere. Cambridge University Press, Cambridge, 292-317.

Received: 1.09.2013

Accepted: 11.11.2013