

І.М. КОВАЛЕНКО

Сумський національний аграрний університет  
вул. Кірова, 160, Суми, 40021, Україна

## **ПРОГНОЗ СТАНУ ПОПУЛЯЦІЙ РОСЛИН ТРАВ'ЯНО-ЧАГАРНИЧКОВОГО ЯРУСУ В ЛІСОВИХ ФІТОЦЕНОЗАХ НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНО-РЕГРЕСИВНОЇ МОДЕЛІ**

*Ключові слова: моделювання популяційних процесів, кореляційно-регресійна модель, трав'яно-чагарничковий ярус, онтогенетична та вікова структура популяцій*

Протягом останніх 15 років в Україні проводиться значна робота з розширення кількості і площ об'єктів природно-заповідного фонду держави (заповідників, національних природних парків, заказників тощо), створюється загальнодержавна екомережа як частина загальноєвропейської екомережі. Складовою цієї роботи є прогнозування стану рослинного покриву на територіях, яким надано відповідний охоронний статус після припинення на них господарської діяльності.

Одним із таких об'єктів є Деснянсько-Старогутський національний природний парк (ДСНПП). Його створено в 1999 р. і до останнього часу лісові масиви даної території знаходилися у стані господарського використання. Після припинення господарської діяльності в ДСНПП розпочалися відновні сукцесії. Вони охоплюють усі блоки лісової екосистеми, в тому числі і трав'яно-чагарничковий ярус (ТЧЯ), стан якого істотно впливає на хід природного відновлювання деревних порід.

Ймовірно, що на майбутньому стані популяцій ТЧЯ позначається цілий ряд факторів. Це насамперед: а) вік та зімкнутість деревостану; б) ценотичні взаємозв'язки між видами клоноутворюючих рослин ТЧЯ та інших видів лісового угруповання, розташованих в одному ярусі з ними; в) зміни екологічного режиму в лісовій асоціації, спричинені погодними флюктуаційними коливаннями метеорологічних факторів та їх багаторічними трендами; г) дотримання режиму охорони території ДСНПП (за винятком рекреаційного навантаження, у тому числі витоптування, збирання ягід і грибів); д) вплив на ТЧЯ в ДСНПП динамічних змін чисельності і видового складу різних груп тварин-фітофагів.

### **Об'єкти та методика досліджень**

Загальноприйнята методика прогнозування з побудовою тимчасових рядів [2] базується на результатах тривалих спостережень за еколого-фітоценотичними процесами, які в циклі наших досліджень на даній території лише

розпочалися. Проте є можливість скласти орієнтований прогноз стану ТЧЯ на основі кореляційно-регресійної моделі, що дає змогу прогнозувати стан одного блоку фітоценозу, спираючись на динаміку іншого, достовірно сполученого з ним [3, 5, 7—12]. Ми прогнозуємо стан популяцій ТЧЯ на основі пов'язаного з ним процесу природного зростання календарного віку деревостанів зі збільшенням їх зімкнутості. Я.П. Дідух стверджує, що «результат создания теоретических моделей и управления ими не оправдал себя», і «перспективным является иной путь исследования — от установления зависимости между компонентами экосистем на основе конкретных результатов до их моделирования» [4: 137]. Саме в такому напрямку ми спробували підійти до прогностичних моделей видів рослин у ДСНПП.

Метою наших досліджень є апробація кореляційно-регресійного методу і виконання прогнозу стану популяцій восьми видів клоноутворюючих рослин, які домінують у нижніх ярусах лісових угруповань ДСНПП. Такий прогноз може допомогти розробці ефективніших методів збереження популяцій як частини загальної природної біорізноманітності. Для підвищення інформативності методу він реалізований ступенево як марковський процес — через кожні 10 років із загальною глибиною прогнозу на наступних 30 років [13].

Для прогнозу стану популяцій було обрано 8 видів рослин, які домінують у нижніх ярусах лісів ДСНПП (*Aegopodium podagraria* L., *Asarum europaeum* L., *Carex pilosa* Scop., *Calluna vulgaris* (L.) Hull., *Molinia caerulea* (L.) Moench., *Stellaria holostea* L., *Vaccinium myrtillus* L. і *V. vitis-idaea* L.), із 27 лісових асоціацій з оцінкою стану популяцій за 4 роки (2001—2004), що забезпечило досить репрезентативний матеріал.

Як прогнозовані використано два параметри популяції, що найповніше розкривають її загальний статус: віталітетна структура у формі індексу її якості  $Q$  і вікова структура з її інтегральною оцінкою — коефіцієнтом  $I_{\text{вік}}$  [6]. Ці дані базуються на 93 повних геоботанічних описах та аналізі вікового і віталітетного стану 21622 особин вивчених рослин, що дає змогу вважати вихідний матеріал репрезентативним.

Порядок розрахунків для кожного з досліджуваних видів рослин ТЧЯ був таким. Спочатку для статистично достовірних значень коефіцієнтів кореляції на підставі рівняння регресії обчислювали напрямок і абсолютну зміну значення індексу  $Q$  для періоду часу  $n+10$  років (збільшення календарного віку деревостану на 10 років). Потім обчислювали напрямок і зміну індексу  $Q'$  при зростанні зімкнутості деревостану на 0,07 одиниць, що відповідає збільшенню календарного віку деревостану на 10 років. На підставі цих двох оцінок обчислювали підсумкову прогнозовану зміну індексу  $Q$  за період часу  $n+10$  років. За такою ж методикою отримано значення індексу  $Q$  —  $n+20$  і  $n+30$  років. Підсумкові прогнозовані зміни за шкалою часу значень індексу віковості популяцій  $I_{\text{вік}}$  обчислювали аналогічним способом. Розрахунки проведено з використанням комп'ютерної програми Statistica 5.5.

## Результати дослідження та їх обговорення

Результати дослідження засвідчили, що найбільшою мірою на стан популяцій обраних видів рослин ТЧЯ впливають абсолютний вік деревостану і ступінь його зімкнутості. Залежність віталітетної структури популяцій ТЧЯ від віку деревостану (AGE) відповідає лінійному регресійному рівнянню  $Q = -0,146 + 0,007 \text{ AGE}$  та має тенденцію зростати зі збільшенням віку деревостану (за умови, що цей показник перевищує 25 років). Залежність віталітетної структури популяцій від зімкнутості деревостану (CLOSE) відповідає рівнянню  $Q = 0,181 + 0,07 \text{ CLOSE}$  і також має тенденцію до зростання. Встановлено статистично достовірну залежність віковості популяцій  $I_{\text{вік}}$  як від календарного віку деревостану ( $I_{\text{вік}} = 3,426 - 0,043 \text{ AGE}$ ), так і від його зімкнутості ( $I_{\text{вік}} = 1,209 - 0,302 \text{ CLOSE}$ ). Ці дані свідчать про загальну тенденцію до омолодження популяцій ТЧЯ в міру старіння деревостану ДСНПП.

Аналіз геоботанічних описів і лісотаксаційних матеріалів для обстежених лісових асоціацій ДСНПП показав, що в них спостерігається тенденція зміни структури деревостану, а саме — зростання зімкнутості намету в міру збільшення календарного віку лісоутворюючої деревної породи. Вона відповідає рівнянню  $\text{CLOSE} = 0,206 + 0,0068 \cdot \text{AGE}$ , тобто в разі зростання календарного віку деревостану на кожні 10 років зімкнутість збільшується на 0,07 одиниці. Виявлена на основі вищенаведених рівнянь загальна тенденція динаміки популяцій досліджуваних рослин ТЧЯ на найближчі 30 років полягає у поліпшенні віталітетної структури популяцій з їх переходом за станами віталітету від депресивних до рівноважних і потім — до процвітаючих.

### Прогноз стану популяцій восьми видів рослин ТЧЯ в ДСНПП

Асоціації і прогнозовані параметри		Вихідні значення	+10 років	+20 років	+30 років
<i>Aegopodium podagraria</i>					
Асоціація I	Q	0,200	0,292	0,384	0,476
	$I_{\text{вік}}$	0,980	0,661	0,342	0,023
Асоціація II	Q	0,409	0,500	0,500	0,500
	$I_{\text{вік}}$	0,290	0	0	0
Асоціація III	Q	0,093	0,185	0,277	0,369
	$I_{\text{вік}}$	0,290	0	0	0
<i>Asarum europaeum</i>					
Асоціація I	Q	0,346	0,500	0,500	0,500
	$I_{\text{вік}}$	0,180	0	0	0
Асоціація II	Q	0,292	0,460	0,500	0,500
	$I_{\text{вік}}$	0,130	0	0	0
Асоціація III	Q	0,207	0,375	0,500	0,500
	$I_{\text{вік}}$	2,390	0	0	0
<i>Carex pilosa</i>					
Асоціація I	Q	0,163	0,277	0,391	0,500
	$I_{\text{вік}}$	2,190	0	0	0
Асоціація II	Q	0,250	0,364	0,478	0,500
	$I_{\text{вік}}$	1,080	0	0	0

Асоціації і прогнозовані параметри		Вихідні значення	+10 років	+20 років	+30 років
Асоціація III	Q	0,239	0,353	0,467	0,500
	I <sub>вік</sub>	1,130	0	0	0
<i>Calluna vulgaris</i>					
Асоціація I	Q	0,167	д	д	д
	I <sub>вік</sub>	1,610	0	0	0
Асоціація II	Q	0,088	д	д	д
	I <sub>вік</sub>	0,090	0	0	0
Асоціація III	Q	0,500	д	д	д
	I <sub>вік</sub>	1,720	0	0	0
<i>Molinia caerulea</i>					
Асоціація I	Q	0,145	д	д	д
	I <sub>вік</sub>	1,190	2,948	4,706	6,464
Асоціація II	Q	0,181	0,090	д	д
	I <sub>вік</sub>	1,330	3,088	4,846	6,604
Асоціація III	Q	0,250	0,078	д	д
	I <sub>вік</sub>	0,560	2,318	4,076	5,834
<i>Stellaria holostea</i>					
Асоціація I	Q	0,236	д	д	д
	I <sub>вік</sub>	0,720	0	0	0
Асоціація II	Q	0,156	д	д	д
	I <sub>вік</sub>	3,650	2,771	1,892	1,013
Асоціація III	Q	0,226	д	д	д
	I <sub>вік</sub>	0,310	0	0	0
<i>Vaccinium myrtillus</i>					
Асоціація I	Q	0	0,500	0,500	0,500
	I <sub>вік</sub>	1,450	0,596	0	0
Асоціація II	Q	0,500	0,500	0,500	0,500
	I <sub>вік</sub>	0,510	0	0	0
Асоціація III	Q	0	0,500	0,500	0,500
	I <sub>вік</sub>	1,250	0,396	0	0
Асоціація IV	Q	0,390	0,500	0,500	0,500
	I <sub>вік</sub>	0,570	0	0	0
Асоціація V	Q	0,171	0,500	0,500	0,500
	I <sub>вік</sub>	0,530	0	0	0
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>					
Асоціація I	Q	0,294	0,352	0,410	0,468
	I <sub>вік</sub>	0,810	0	0	0
Асоціація II	Q	0,088	0,146	0,204	0,262
	I <sub>вік</sub>	0,340	0	0	0
Асоціація III	Q	0,214	0,272	0,330	0,388
	I <sub>вік</sub>	0,200	0	0	0
Асоціація IV	Q	0,167	0,225	0,283	0,341
	I <sub>вік</sub>	2,410	0,470	0	0

Примітка: д — депресивний стан популяції.

Основні тенденції зміни стану популяцій вивчених видів ТЧЯ представлені в таблиці. Прогнозні значення індексів  $Q'$  і  $I'_{\text{вік}}$  отримані на підставі точних статистичних розрахунків на базі вихідних даних щодо стану популяцій і виявлених залежностей між різними їхніми параметрами, є статистично достовірними. Їх можна розглядати як загальну тенденцію.

*Aegopodium podagraria*. Популяції мають тенденцію до омолодження і підвищення рівня віталітету. Швидше цей процес відбуватиметься в асоціації *Querceto-Pinetum coryloso-aegopodiosum* (у таблиці — асоціація II), а найповільніше — в асоціації *Betuleto-Pinetum coryloso-aegopodiosum* (III).

*Asarum europaeum*. На прогнозований період індекс якості популяцій  $Q$  зростатиме, переважаючи зараз процеси старіння зміняться процесами відновлення, у популяції домінуватимуть догенеративні парціальні кущі.

*Carex pilosa*. За прогнозом підвищуватиметься рівень віталітету популяцій з посиленням процесів омолодження. Він буде більш вираженим в асоціаціях *Quercetum coryloso-caricosum* (II) і *Betuleto-Quercetum coryloso-caricosum* (III).

*Calluna vulgaris*. На підставі прогнозних моделей можна очікувати, що в міру старіння і змикання деревостану якість популяцій *C. vulgaris* швидко знижуватиметься. Можлива й повна елімінація популяцій *C. vulgaris* з розглянутої групи лісових асоціацій ДСНПП.

*Molinia caerulea*. У найближчі 30 років можна очікувати погіршення віталітетного складу популяцій. Популяції, які збереглися, матимуть інвазійний характер. Найінтенсивніше цей процес відбуватиметься в асоціації *Pinetum molinosum* (I).

*Stellaria holostea*. У перспективі найближчих 30 років у популяціях переважатимуть процеси омолодження, що надасть їм інвазійного типу. Водночас посилюватиметься депресивний характер популяцій.

*Vaccinium myrtillus*. Ліси-чорничники прогресивно розвиватимуться на території ДСНПП. Цей процес супроводжуватиметься омолодженням популяцій *V. myrtillus*.

*Vaccinium vitis-idaea*. Протягом прогнозованого періоду поліпшуватиметься віталітетна структура популяцій з переходом по категоріях якості від депресивних у рівноважні, від рівноважних — у процвітаючі, а також досить вираженими будуть процеси їх омолодження.

Загалом прогнозування на основі кореляційно-регресійних моделей допомогло виявити загальні тенденції зміни популяцій ТЧЯ у процесі старіння деревостану з підвищенням їх зімкнутості. З 2006 р. ми розпочали моніторинг стану популяцій досліджуваних видів рослин у ДСНПП, метою якого є уточнення розглянутого прогнозу з використанням імітаційних методів і розробка заходів, які забезпечуватимуть збереження біорізноманітності лісових екосистем національного природного парку.

## Висновки

1. З використанням методу кореляційно-регресійного прогнозування встановлено, що в лісових масивах ДСНПП найближчими десятиліттями узгоджено з природними процесами збільшення календарного віку деревостанів та їх зімкнутості виявиться тенденція до загального омолодження популяцій ряду видів ТЧЯ із закономірними змінами їх віталітету.

2. Підтверджено концепцію поліваріантності та індивідуальності динаміки популяцій восьми видів рослин ТЧЯ, для яких виявлено специфічність розвитку на найближчі десятиліття, зумовлену особливостями їх життєвих форм і екології.

3. Метод кореляційно-регресійного прогнозування може бути рекомендовано для аналізу стану взаємопов'язаності екосистем, зокрема деревостану і нижніх ярусів лісу.

1. Антомонов Ю.Г. Моделирование биологических систем. — Киев.: Наук. думка, 1977. — 277 с.
2. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 384 с.
3. Джеффферс Д. Введение в системный анализ: применение в экологии. — М.: Мир, 1981. — 256 с.
4. Дідух Я.П. Проблемы развития фитоэкологии в Украине // Ботаника и экология на пути в 3-е тысячелетие. — Киев, 1996. — С. 129—140.
5. Ивченко Б.П., Мартыщенко Л.А. Информационная экология. Ч. 1. — С.-Пб.: Нордмед-Издат, 1998. — 208 с.
6. Коваленко І.М. Структура популяцій домінантів трав'яно-чагарничкового ярусу в лісових фітоценозах Деснянсько-Старогутського національного природного парку 1. Онтогенетична структура // Укр. ботан. журн. — 2005. — 62, № 5. — С. 707—714.
7. Лаврик В.І. Методи математичного моделювання в екології. — К.: Фітосоціоцентр, 1998. — 132 с.
8. Мауринь А.М. Прогнозирование в ботанике // Уч. зап. Латв. гос. ун-та. — 1971. — 153. — С. 3—9.
9. Розенберг Г.С. Модели в фитоценологии. — М.: Наука, 1984. — 240 с.
10. Самойлов Ю.И., Тархова Т.Н. Анализ сукцессионной мозаики напочвенного покрова с использованием марковских моделей // Ботан. журн. — 1985. — 70, № 1. — С. 12—22.
11. Слободян Г.М. Применение математической модели для прогнозирования динамики численности популяций черники // Экология популяций. — Новосибирск, 1988. — Ч. 2. — С. 229—321.
12. Смелянский И.Э. Механизмы сукцессии // Усп. совр. биол. — 1993. — 113, № 1. — С. 36—45.
13. Usher M.B. Modeling ecological succession with particular reference to Markovian models // Vegetatio. — 1981. — N 46—47. — P. 11—18.

Рекомендує до друку  
Я.П. Дідух

Надійшла 26.01.2006

**ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ РАСТЕНИЙ  
ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВОГО ЯРУСА В ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ  
НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ**

В результате разработки прогностических моделей установлено, что в наибольшей мере на состояние популяций исследуемых растений травяно-кустарничкового яруса влияют возраст древостоя и степень его сомкнутости. Зависимость виталитетной структуры популяций травяно-кустарничкового яруса от возраста древостоя отвечает регрессионному уравнению:  $Q = -0,146 + 0,007 \cdot AGE$ , т.е. проявляет тенденцию к увеличению по мере увеличения возраста древостоя (при условии, что возраст древостоя превышает 25 лет). Зависимость виталитетной структуры популяций от сомкнутости древостоя отвечает уравнению  $Q = 0,181 + 0,07 \cdot CLOSE$ , т.е. также склонна к увеличиванию. Апробирован метод диагностики состояния популяций, пригодный для мониторинга их динамики в условиях заповедности. Сделан прогноз состояния и развития травяно-кустарничкового яруса в лесах региона на ближайшие 30 лет. Показано, что с развитием сукцессионного процесса на территории Деснянско-Старогутского национального природного парка будет повышаться виталитет популяций травяно-кустарничкового яруса по градиенту: депрессивные → равновесные → процветающие при снижении общей возрастной.

*Ключевые слова:* моделирование популяционных процессов, корреляционно-регрессионная модель, травяно-кустарничковый ярус, возрастная и виталитетная структура популяций

*I.M. Kovalenko*

Sumy national agrarian university

**PROGNOSTICATION OF THE STATE OF POPULATION OF PLANTS OF HERB-  
UNDERSHRUB LAYER IN FOREST AREA  
ON THE BASIS OF CORRELATION-REGRESSIVE MODEL**

At development prognosis models it was set that in most measure age of forest trees and degree of his serried influence on the state of the population explored plants of herb-undershrub layer tier. Dependence of vitality structure of population of herb-undershrub layer tier on age of forest trees answers regressive equalization:  $Q = -0,146 + 0,007 \cdot AGE$ , and she has a tendency to be increased as far as the increase of age of forest trees (subject to the condition, if age of forest trees anymore for 25 years). Dependence of vitality structure of population from serried of forest trees respond to condition:  $Q = 0,181 + 0,07 \cdot CLOSE$ , and also has a tendency to the increase. The method of diagnostics of the state of population is approved, suitable for monitoring of their dynamics in the conditions of protected. The prognosis of state is done and development of herb-undershrub layer tier in the forests of region on the nearest 30 years. It is shown that with development of sукцезыонс process, there will be the increase of vitality population of herb-undershrub layer tier on a gradient on territory of the Desnyansko-Starogutsky national natural park: depressive → equilibrium → prosperous at the decline of general age population.

*Key words:* design of population processes, correlation-regressive model, herb-undershrub layer, age and vitality structure of population.