

## ОЦІНКА ЗМІН ТА НАПРЯМКИ СУКЦЕСІЙ У ВТОРИННИХ ЯЛИННИКАХ БУКОВО-ЯЛИЦЕВО-ЯЛИНОВИХ ЛІСІВ ЗАКАРПАТТЯ

*Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва ім. П. С. Пастернака*

Кліматичні зміни, що спричинені людьми, можуть мати різні наслідки для лісів у наступних сторіччях. У наведеній статті представляється один із методів для їх оцінки. Математично-екологічна модель FORKOME використовується для оцінки можливих змін у видовому складі та біомасі головних деревних видів у гірському поясі Українських Карпат. Результати симуляції дискутувались з екологічної та лісівничої точок зору.

*Ключові слова: чисті смеречники, сукцесійні процеси, зміна клімату, оцінка впливу.*

T. V. Parpan

*Pasternak Ukrainian research institute of mountain forestry*

### ANTROPOGENIC CLIMATE CHANGES, SUCCESSIONAL PROCESSES AND FOREST MANAGEMENT OPTOINS

Anthropogenic changes of the climate have the potential to significantly affect forests in the coming century. The quantitative mathematical model FORKOME are used to evaluate possible changes of the tree species composition and biomass in the mountain of Ukrainian Carpathian. The simulations results are discussed from an ecological as well as from a forestry perspective.

*Key words: net spruce forest, succession process, climate change, impact assessment.*

Антропогенні зміни клімату глобальних розмірів (Houghton et al., 1996), що очікуються в наступних сторіччях, та їх наслідки на екосистеми належать до відомих проблем на інтернаціональному (Watson et al., 1996), національному (Volz et al., 1988) та регіональному рівнях. У гірських лісових екосистемах Європи помітними є зміни приростів головних видів та розширення або звуження їх ареалу (включаючи і границю лісу). Такі процеси, як правило, пов'язані із змінами в сучасному рослинному покриві (Kirschbaum et al., 1996). У лісівничій практиці України, карпатського регіону зокрема, першоплановим завданням є сприяння природному відновленню та збереження стабільності захисних лісів у гірських регіонах, а також проблеми їх захисту від аеротехногенних емісій та навали короїдних жуків. Робота над цими проблемами є пріоритетною, проте у наступні десятиріччя на них накладатимуться ще й серйозні зміни, пов'язані з кліматичними аномаліями в атмосфері.

Постають питання про застосування правильних методів для оцінки впливів кліматичних змін на довготривалу динаміку лісових екосистем, які можна звести до трьох підходів:

1. Традиційні лісівничі методи, що базуються на основі таблиць ходу росту, втратили свою актуальність через депонування азоту в ґрунті і біомасі, а також інші процеси (Pretzsch, 1992). Тому за умови швидких кліматичних змін похибки між прогнозованими та реальними результатами є досить значними, що викликає сумніви застосування традиційних статистичних моделей у вигляді таблиць ходу росту за умови швидких кліматичних змін.

2. Альтернативним методом є екофізіологічні експерименти, що покращують розуміння окремих екосистемних процесів; але на основі великих затрат, короткотривалості та незначних просторових розмірів експерименту не можна робити висновок про довготривалу поведінку таких екосистем, як ліси (Ehleringer et al., 1993).

3. У минулому часто використовували рослинно-географічні підходи, а саме: як зразок за сучасних умов бралась рослинність інших кліматичних зон (наприклад, Середземномор'я), що нібито є аналогом клімату майбутнього у нас разом з характер-

ним для нього рослинним покривом. Проте такі методи мають недоліки, оскільки вони не дозволяють будь-яких ствердних припущень та висловлювань щодо очікуваної динаміки, а також прогнозів клімату майбутнього, аналогів якого на сьогоднішній день ми не маємо на нашій планеті; з палеоекологічних досліджень відомо, що у минулому був такий кліматичний режим, який більше не зустрічається. Тому із значною ймовірністю можна очікувати, що такі «неаналогічні» ситуації зустрічатимуться і в майбутньому. Тому палеоекологія представляється як можливе першоджерело в сенсі «минуле – як ключ майбутнього». Якщо висловлювання з приводу динаміки та «неаналогічних ситуацій» є припустимими, то застосування палеоекологічних методів у часі та просторі є здебільшого недостатнім, тому що вони не можуть у достатньому обсязі свідчити про локальні та регіональні зміни в майбутньому.

Через інформативні обмеження, які несуть у собі вищезазвані методи, напрошується розробка таких інструментів, що могли б синтезувати наукові знання з різних дисциплін для певної та конкретно узагальненої оцінки динаміки лісових угруповань. Такий інструмент презентують кількісні математичні моделі, що знаходять адекватне застосування в дослідженні лісових екосистем різної структури. Слід зауважити, що такі моделі не є самоціллю, а лише засобом для досягнення певної мети, і не є альтернативами до перелічених методів, а лише їх змістовним доповненням.

Застосування так званих «Gap-моделей» («gap»[англ.] = просвіт) слугує прогнозом майбутнього видового складу та структури лісів. Такі моделі аналізують виживання, ріст та відмирання окремих дерев на основі функціонального впливу клімату, ґрунту та конкурентних взаємовідносин. Такі інтеракції відбуваються на площі, розмір якої міг би приблизно займати окреме доросле дерево. Внаслідок морталітету великого дерева з'являється просвіт, який може успішно використовуватися пригніченим молодим поколінням; до того ж починається здебільшого хвиля виживання нових індивідуумів.

Є достатня низка посилань про ті факти, що довготривала сукцесійна динаміка у природних лісових угрупованнях проходить саме через механізми «динаміки просвітів» (Watt, 1947; Pickett et al., 1985). Динаміка лісових сукцесій для різних типів лісу неодноразово перевірялась через призму «геп-моделей», результати яких показали цілком реалістичні сценарії: в букових лісах Європи (Watt, 1925), у мішаних (Szwagrzyk, 1992) та соснових лісах Польщі (Andrejczyk et al., 1995), районі Великих Озер США (Frelich et al., 1991), південних Аппалачах (Busing, 1998) та у хвойних лісах на північному заході Північної Америки (Lertzman et al., 1996). А ті факти, що в багатьох лісах значні площі мають однорідну вікову структуру, через що їх морталітет у значній мірі проходить синхронно (Korpel, 1995), є, очевидно, наслідком таких синхронізованих агентів, як вітровали, комахи, вогонь та шкоди, спричинені сонцепопілками. Тому такий феномен є реальним, і він не може фальсифікувати «динаміку прогалин» як принциповий механізм сукцесії.

Спираючись на емпіричний аналіз «динаміки гепів», упродовж майже 30 років було розроблено численну кількість моделей (Botkin et al., 1972; Shugart, 1984). Первинною метою моделювання було просте вивчення сукцесійних процесів за умови незмінних умов довкілля. Згодом застосовувались інші варіанти моделі для спроби з'ясування впливу кліматичних змін (Solomon, 1986; Pastor et al., 1988), CO<sub>2</sub> – підживлення (Botkin et al., 1973) та забруднення повітря (Shugart et al., 1985). Використання таких моделей у 90-х рр. минулого сторіччя неодноразово критикувалось (Bonan et al., 1992; Loehle et al., 1996; Schenk, 1996). Критичні зауваження можна обмежити двома основними підтвердженнями: по-перше, значення параметрів, за допомогою яких характеризувались деревні види, базувались на їх сучасній екологічній ніші. Тому таке припущення було підставою того, що модель коректно відображає тільки сьогоднішні райони поширення видів, а толерування видами одночасно змінних факторів довкілля (потенційна ніша) сприймалися та розумілись як фальсифіковані, внаслідок чого, за умови зміни клімату, отримувались нереалістичні результати. По-друге, моделі містили такі функції, які при зростанні температури та відсутності сухості ґрунту прогнозували послаблення росту деревних видів, у той час як відомим є те, що багато видів можуть краще зростати в південному напрямку від їх сьогоднішнього ареалу, тобто за дещо тепліших умов довкілля.

Тому першочерговим завданням цієї статті була перевірка за допомогою нової модельної версії вищезгаданих зауважень. Вона розроблена з метою усунення проблем, що пов'язані з моделюванням гепів-прогалин у сценаріях із змінами клімату (*Bugmann, 2001; Kozak, 1999, 2003*).

Більшість наукових досліджень, пов'язаних з моделюванням гепів-прогалин у варіантах із змінами клімату проводилась у природних лісах (винятки підтверджують правила (див. працю *Kellomäki* для лісів Фінляндії (*Kellomäki, 1992*)). Висловлювання та твердження щодо природної динаміки в лісовому господарстві на сьогоднішній день набувають дедалі більшого значення. Це стосується передусім природних лісів, де метою ведення господарства є наближене до природного господарювання.

За допомогою моделі FORKOME можна передбачити ситуацію з тими видами, які більше не відновлюватимуться або відновлюються незадовільно, та варіант з так називаними «емігрантами». У такому випадку можна та необхідно підсаджувати корінні види, що означатиме відсутність обумовлених кліматом обмежень у їх відновленні, а у випадку з появою нових видів можлива їх вирубка в процесі рубок догляду з метою збереження характерних теперішніх видів для майбутнього стану лісів у цілому (наприклад, з туристичних причин). Такі втручання направлені передусім на відновлення корінного типу лісу і слугуватимуть гарантом підвищення стабільності захисних гірських лісових екосистем. Другим завданням цієї статті є аналіз впливу таких втручань на видовий склад та динаміку сукцесій на основі моделі FORKOME.

При всіх спробах моделювання з багатьох причин слід урахувати той факт, що результати симуляції інтерпретуються не як прогноз майбутнього стану чи долі наших лісів, а лише як спроба оцінки вразливості цих висококомплексних та не до кінця зрозумілих систем по відношенню до клімату на основі добре перевірених (валідованих) моделей (*Bugmann, 1997*). На основі пізнання вразливостей таких параметрів моделі, як біомаса та склад деревних видів по відношенню до змін клімату, можна резюмувати про міру вразливості лісових екосистем. Така інформація може допомогти у виборі та реалізації правильних лісгосподарських та політичних стратегій управління.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Постійний дослідний об'єкт закладений у 1970 р. в похідному ялиновому насадженні Лопушанського лісництва, квартал 12, Ясинянського ДЛМГ у вологій буково-ялицевій сурамені. Розміщений він на висоті 950-1000 м н. р. м. і займає середню частину випуклого схилу. Крутість 22°, експозиція схилу північно-західна 15°. Грунт на ділянці бурий гірсько-лісовий слабопідзолений, суглинистий.

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційна характеристика дослідних об'єктів

№ секцій	Вік, роки	Число стовб., шт/га	Середні показники		Повнота, м <sup>2</sup>	Запас, м <sup>3</sup>	Склад
			Н, м	Дм, см			
IV	14	9578	3,4	3,0	–	17	8Ял2Яв од.Вб., Бк, Гор,Яц
	40	2196	19,4	17,1	1,1	548	10Ял, од.Бк,Яв,Вб
	50	1436	26,7	21,9	1,0	723	10Ял, од.Бк,Яв,Вб
V	14	7320	3,1	2,7	–	12	9Ял1Яв од. Бк,Яц,
	40	1936	20,3	17,3	1,0	506	10Ял, од. Яц,Вз,Гор,Яв,Бк,Вб
	50	1152	26,0	22,5	0,9	613	10Ял, од.Яв,Бк,Гор

Насадження створене шляхом посадки культур у 1956 р., до чого на ділянках уже було природне поновлення смереки та інших порід. Вік насадження на час закладки пробних площ становив 14 років з коливанням від 12 до 17 років. Повторні заміри

проводились на 40-й та 50-й рік від часу створення насадження. Об'єкт складається з 6 пробних площ по 0,25 га кожна загальною площею 1,5 га. Деревостан можна охарактеризувати як лабільний, де його резистентність є меншою за навантаження, тому він є дещо ризикованим щодо територіальної деструкції (Ernst Ott et al., 1997). Дослідження на предмет прогнозування проводились на двох з шести секцій (4 і 5), опосередкована таксаційна характеристика яких наведена у табл. 1.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

### Склад угруповання за умови незмінного клімату

Загальна зміна біомаси до 350-річного року прогнозу показує незначні коливання (рис. 1). Лише в останні 50 років вона дещо спадає через досить різке зменшення смереки у складі угруповання. У другій половині прогнозу (після 180 років) модель симулює значно більшу частку ялиці та бука (рис. 2, 3, табл. 2.), що є цілком реалістичним для цих умов місцезростання.

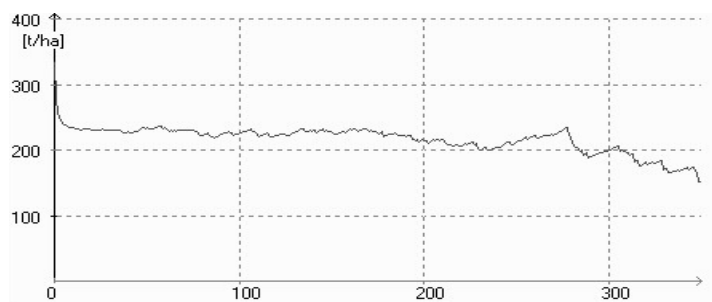


Рис. 1. Динаміка загальної біомаси угруповання на 350-річний період моделювання (сценарій константного клімату)

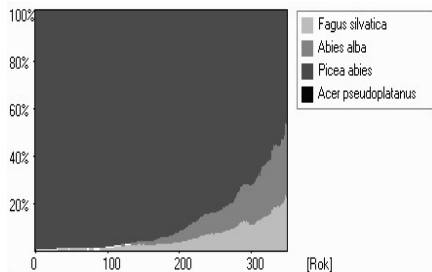


Рис. 2. Зміна біомаси, %, за 350-річний період прогнозу (клімат стабільний)

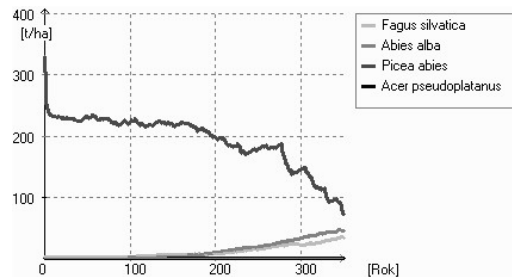


Рис. 3. Графічна зміна біомаси за 350-річний період прогнозу (клімат стабільний)

Таблиця 2

Зміна біомаси за видами (клімат стабільний)

Роки \ Види	1	70	140	210	280	350
Fagus sylvatica	2,61	2,31	5,36	8,33	21,02	33,95
Abies alba	0	0,3	2,67	11,1	26,51	46,49
Picea abies	278,21	227,66	220,89	194,96	186,64	92,65
Acer pseudoplatanus	0,15	0,08	0	0	0	0

Результати симуляції за умови константного клімату є доволі ствердними у порівнянні до припущень з параметризації кліматичних ефектів у моделі на досліджуваному об'єкті. А це означає, що отримані результати не так критично залежать від окремих модельних припущень. Через просту зміну параметрів у моделі можна еліминувати будь-які відхилення. Однак ми свідомо відмовилися від зміни значень параметрів, щоб отримати якомога «кращі» результати симуляції (так називані «*tuning*»). Однак цей результат не повинен інтерпретуватися як придатний для всіх геп-моделей та подібних умов місцезростання: з одного боку, використаний градієнт описує досить обширний, але не всеосяжний регіон кліматичних умов гірської карпатської системи. З іншого боку, представлена версія моделі вже перевірена і покращена щодо правильності застосування репрезентації кліматичних ефектів, так що результати симуляції не могли б різко змінюватись через подальші модифікації.

#### Склад угруповання за умови змінного клімату

Дедалі більша наявність парникових газів, що з'являються в атмосфері як результат людських діянь, призводить до додаткової абсорбції енергії в її нижчих шарах. З одного боку, це сприяє підвищенню температури, а з іншого – збільшенню гідрологічного кругообігу (у глобальному масштабі). Проте такого роду глобальні гіпотези не означають, що повсюдно й одночасно на глобусі стає тепліше та вологіше; такі «прогнози» не є ствердними, оскільки прослідковуються чіткі регіональні відмінності.

У всіх сценаріях даної роботи за умови зміни клімату до уваги брались зміни середніх місячних показників температури та опадів. Слід врахувати, що прогнозовані сценарії є фактично «сценаріями» в повному розумінні слова, а не описами майбутнього кліматичного стану, оскільки немає жодних аргументів на те, що клімат буде змінюватися лише через антропогенні впливи саме в тому чи іншому напрямку.

Першим завданням прогнозування був сценарій «тепло-волого», а другим – сценарій «тепло-сухо». У першому випадку температура була вищою на 2 °C, а кількість опадів на 150 мм вища, ніж сьогодні. А в другому – температура була також вищою на 2 °C, а кількість опадів – менша на 150 мм.

Загальна зміна біомаси угруповання першого варіанту «прогнозу» наведена на рис. 4, де показано різкий спад біомаси до 120-річного періоду, після чого проходить його стрімке зростання до 300-го року прогнозу. На рис. 5 і 6 видно радикальний розвал популяції *Picea abies*, після чого в серійному ряді вторинної сукцесії починає домінувати *Fagus sylvatica* та *Abies alba*. Вартим уваги є те, що їх біомаса через зміну метеорологічних умов (вища температура) після 120-річного прогнозу стрімко зростає, а *Picea abies* виявляє нездатність конкурувати з *Fagus sylvatica* та *Abies alba* (табл. 4). Слід зауважити, що потепління клімату може спричинити те, що за 350 років деревостан на чистій ялиновій площі зазнає таких змін: порівняно зі сценарієм «клімат стабільний» зникне з угруповання ялина, значно збільшиться частка бука, ялиці та поодиноких особин клена-явора.

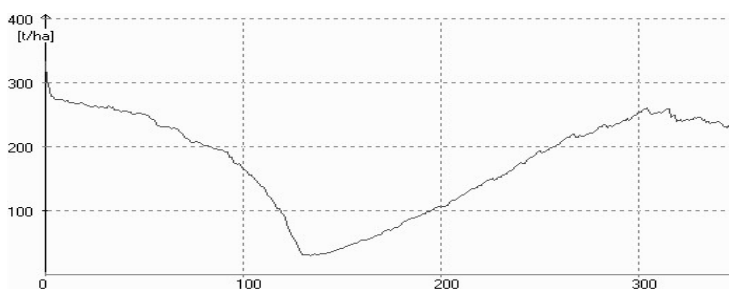


Рис. 4. Динаміка загальної біомаси угруповання на 350-річний період моделювання (сценарій «тепло-волого»)

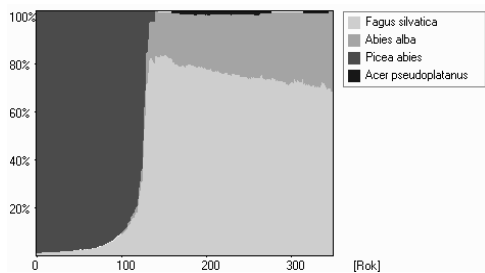


Рис. 5. Зміна біомаси, %  
(сценарій «тепло-волого»)

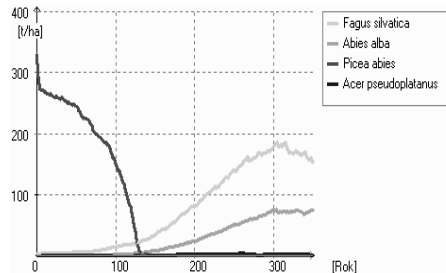


Рис. 6. Графічна зміна біомаси  
(сценарій «тепло-волого»)

Таблиця 3

Зміна біомаси за видами (сценарій «тепло-волого»)

Роки \ Види	1	70	139	208	277	346
Fagus sylvatica	2,61	6,46	25,39	90,29	160,45	155,85
Abies alba	0	0,26	5,41	27,38	61,1	71,85
Picea abies	278,21	209,93	1,35	0	0	0
Acer pseudoplatanus	0,15	0	0,03	1,65	1,87	3,9

У сценаріях «теплішого і сухішого» клімату, у порівнянні зі сценарієм «клімат стабільний», також спостерігається різкий спад біомаси до 120-річного періоду, після чого проходить її стрімке зростання до кінця прогнозу (рис. 7). Наприкінці прогнозу загальна біомаса буде наближеною до початкової: 280 до 310 т/га. Частка бука також збільшиться, особливо в кінці прогнозу (рис. 8, 9, табл. 4). Вона складає 200 т/га, що на 40 т/га більше, ніж у сценарії «тепло-волого». Участь ялици є подібною до попереднього сценарію – 78,9 до 71,85 т/га, а клена-явора – 7,73 до 3,9 т/га відповідно (табл. 3, 4).

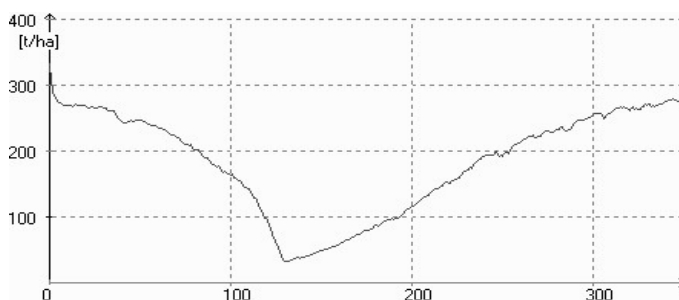


Рис. 7. Динаміка загальної біомаси угруповання на 350-річний період моделювання  
(сценарій «тепло-сухо»)

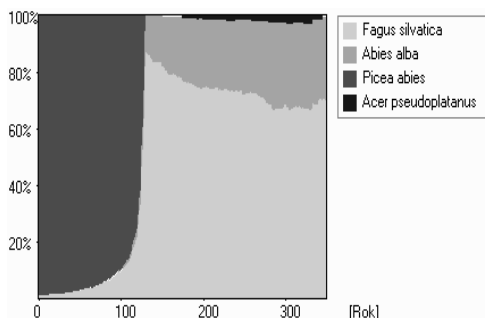


Рис. 8. Зміна біомаси, %  
(сценарій «тепло-сухо»)

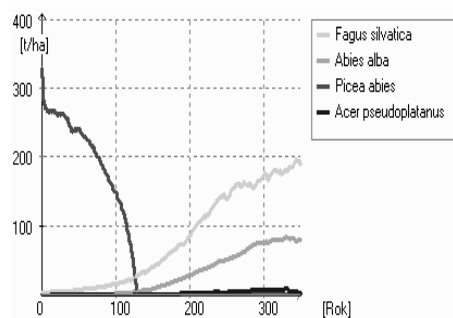


Рис. 9. Графічна зміна біомаси  
(сценарій «тепло-сухо»)

Графічний і табличний аналіз угруповання за умови зміни клімату (сценарій «тепло і сухо»)

Роки \ Види	1	70	139	208	277	346
<i>Fagus silvatica</i>	2,61	9,2	32,36	96,95	159,31	193,62
<i>Abies alba</i>	0	0,27	5,88	31,93	64,54	78,9
<i>Picea abies</i>	278,21	211,31	0,01	0	0	0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0,15	0	0,02	1,98	6,01	7,73

У районі проведення досліджень – практично незалежно від кліматичних сценаріїв – симулюється імміграція бука та поява ялиці, а також незначна частка клена-явора. Наслідком такої сукцесії є поява фактично тих видів, що є характерними для гірського поясу Карпат – *Fagus silvatica* та *Abies alba*.

#### Прогнозування вирубування ялини з підсадкою бука та ялиці без кліматичних змін

Модель FORKOME дає можливість прогнозувати зміну лісів при різних формах вирубування (від рубок догляду, через групово-вибіркові аж до суцільних рубок). У даній роботі проводились групово-вибіркові рубки.

Однією з переваг групово-вибіркових рубок є те, що підріст поступово, а не відразу отримує освітлення, а сама форма прорідження забезпечує більший доступ верхнього і бокового освітлення при збереженні сприятливих лісових умов. Вирубуючи, намагаємось максимально враховувати природні особливості лісу. Це особливо актуально для гірських схилів, де ґрунт при групово-вибіркових рубках практично завжди залишається покритий лісом.

Одним із способів відновлення корінних лісів на місці похідних ялиників є вирубка поодиноких дерев ялини з підсадкою бука та ялиці. На площі 500 м<sup>2</sup> на початку прогнозу за один прийом вирубаємо з 94 дерев 20 штук; тобто кожну п'яту ялину різних діаметрів (від 12 до 32 см) та підсаджуємо 25 саджанців бука та 10 – ялиці. Цим самим модель дає можливість перевірити наслідки такої лісівничої альтернативи.

Результати симуляції наведені на нищенаведених рис. 10, 11, 12 та в табл. 5. Загальна зміна біомаси угруповання наприкінці прогнозу зменшується у порівнянні до початкової (із 180 т/га до 280 т/га), що є подібним до сценарію «константний клімат». У розрізі повидової зміни біомаси модель показує досить поступове збільшення біомаси бука та зменшення біомаси популяції ялини. Особливо характерним є її спад після 100 років від початку прогнозу (рис. 11, 12). У даному варіанті прогнозу наявність ялиці є незначною, незважаючи на підсадку її поодиноких особин, що пояснюється потужною конкуренцією з боку бука лісового (табл. 5). Подібною до попередніх сценаріїв прогнозу є ситуація з кленом-явором. Він є практично відсутнім впродовж усього періоду прогнозу.

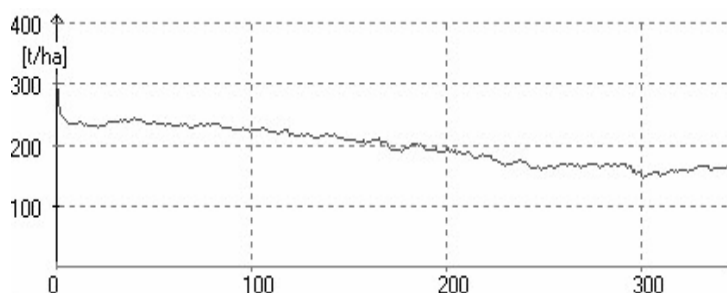


Рис. 10. Динаміка загальної біомаси угруповання (сценарій «вирубка та підсадка»)

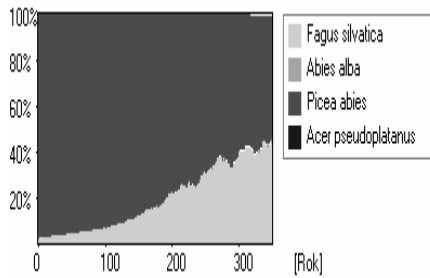


Рис. 11. Зміна біомаси, %  
(сценарій «вирубка та підсадка»)



Рис. 12. Графічна зміна біомаси  
(сценарій «вирубка та підсадка»)

Таблиця 5

Графічний і табличний аналіз угруповання за умови зміни клімату  
(сценарій «вирубка та підсадка»)

Роки Види	1	88	175	262	349
Fagus sylvatica	6,96	13,48	29,58	55,75	68,65
Abies alba	0,93	2,4	5,7	8,9	10,5
Picea abies	278,21	215,72	160,96	110,68	85,88
Acer pseudoplatanus	0,15	0,1	0	0,06	1,72

Сценарій «вирубка та підсадка» виглядає найрезультативнішим, тому що при цьому способі вже на 50-й рік прогнозу можна вести мову про формування мішаного смереково-ялицево-букового деревостану – потенційного угруповання гірського поясу Українських Карпат.

## ВИСНОВКИ

На основі останньої версії сукцесійної моделі у представленій науковій роботі спробою була оцінка результатів моделювання як функції різних гіпотез щодо біокліматичних впливів на появу, виживання та ріст деревних видів. На основі аналізу різних сценаріїв випливають три центральні висновки.

По-перше, первинним механізмом витіснення більш холодоадаптивного виду (у даному випадку ялини) більш «теплолюбними» (буком та ялицею) за умови теплішого клімату у моделі є конкуренція, а це означає, що більш холодостійкі види «заміщатимуться» видами, що повільно «мігруватимуть» у прохолодніші біотопи, що здається цілком реалістичним.

По-друге, виявляється, що проблемою відновлення в моделі є не кліматично обумовлені причини, що впливають на екосистемарні зміни, а кліматичні впливи на ростові процеси дерев і цим самим опосередковано на їх конкуренцію. А тільки підсадкою корінних видів неможливо радикально змінити склад угруповання. Зате, найменш теоретично, можливими є елімінація більш інтенсивнішими рубками догляду поодиноких особин ялини, або всіх нових, не властивих природній рослинності, видів, і цим самим збереження на майбутнє теперішніх, наближених до природних лісів. А екологія тих лісів, які навіть через примусові лісівничі заходи не відповідатимуть майбутньому клімату, також можуть стати вразливими до стресорів, що ставить під сумнів довготривалість такої стратегії. До того ж такий повсюдний менеджмент навряд чи був би профінансований. Тому цілком імовірним є те, що ми мали б орієнтуватися на далекосяжні зміни у видовому складі сьогоденішнього гірського ландшафту.

По-третє, зрозумілим є те, що переваги моделі полягають у тому, щоб відтворити усереднені тенденції розвитку для великого регіону (наприклад, Прикарпаття, Буковина); тому модель не може змістовно застосовуватись для прогнозу розвитку якогось конкретних малих біотопів на майбутні десятиліття. Багато факторів, які можуть бути домінантними на будь-якому мікробіотопі, взагалі або тільки в загальних рисах



відображаються програмою FORKOME. Цінність моделі полягає в тому, щоб структурувати комплексні дані, ідентифікувати критичні параметри, сформулювати подальші дослідницькі питання і врешті-решт без спекуляції перших накинути навіть приблизний погляд у майбутнє і цим самим отримати інформацію про розробку адекватних господарських заходів.

Наприкінці прогнозу виникають питання, чи ці результати можна трансформувати в стратегію управління лісівничої практики. А невідомі на сьогоднішній день факти щодо реальної зміни клімату у регіональному масштабі, а також значна скептичність щодо сукцесійних моделей, що застосовуються для прогнозів (Bugmann, 1996), вимагають розвитку таких стратегій, які дозволили б управляти ресурсами за умови невпевненості щодо кліматичних змін майбутнього (Christiansen et al., 1996). Планування ведення лісового господарства на довгий період є, звичайно, непростим завданням. Проте слід уже сьогодні розпочати такі заходи, що могли б гарантувати на другу половину ХХІ століття збереження нашими лісами захисних, експлуатаційних та рекреаційних функцій. А досить часто пропагованих рекомендацій щодо формування мішаних деревостанів є недостатньо; оскільки не у всіх умовах місцезростання (наприклад, високогірний пояс чистих смерекових лісів) така стратегія за умови сьогоднішнього клімату буде реалізована. Розумним було б застосування таких заходів, які б сприяли відновленню всіх деревних видів, що природно належать до корінних угруповань відповідних умов місцезростань. Такі змішані деревостани можуть краще, ніж одноманітно чисті угруповання, зберігати критичні захисні функції за умови зміни клімату; хоча з цього приводу ще бракує переконливих запевнень.

Єдиним правильним вирішенням проблеми, що могло б дещо гальмувати швидку антропогенну зміну клімату на ХХІ сторіччя, яка має значний вплив на гірські екосистеми, – це подолання основних причин таких змін: подальших суцільних та зведення до мінімуму будь-яких рубок у лісах гірського поясу, а також значне зменшення використання викопного пального.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Andrejczyk, T.; Brzeziecki, B. 1995. The structure and dynamics of old-growth *Pinus sylvestris* (L.) stands in the Wigry National Park, north-eastern Poland. *Vegetatio* 117: 81-94.
- Bonan, G. B.; Sirois, L. 1992. Air temperature, tree growth at the northern and southern range limits to *Picea mariana*. *J. Veg. Sci.* 3: 495-506.
- Botkin, D. B.; Janak, J. F.; Wallis, J. R. 1972. Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *J. Ecol.* 60: 849-879.
- Botkin, D. B.; Janak, J. F.; Wallis, J. R. 1973. Estimating the effects of carbon fertilisation on forest composition by ecosystem simulation. In: Woodwell, G.M.; Pecan, E.V. (Hrsg.). *Carbon and the biosphere*. U.S. department of Commerce, Washington D.C., 328-344.
- Bugmann H. 1997. Sensitivity of forests in the European Alps to future climatic change. *Clim. Res.* 8: 35-44.
- Bugmann H. A review of forest gap models // *Climatic Change*, 51, 2001. – P. 259-305.
- Bugmann, H. K. M.; Jan Xiaodong; Sykes, M. T., Martin, P.; Lindner, M.; Desanker, P. V.; Cumming, S. G. 1996. A comparison of forest gap models: Model structure and behavior. *Clim. Change* 34: 289-313.
- Busing, R. T. 1998. Composition, structure and diversity of cove forest stands in the Great Smoky Mountains: a patch dynamics perspective. *J. Veg. Sci.* 9: 881-890.
- Christiansen, N. L. et al. 1996. The report of the Ecological Society of America committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecol. Applications* 6: 665-691.
- Ehleringer, J. R.; Field, C. B. (Hrsg.) 1993. *Scaling physiological processes: leaf to globe*. Academic Press, San Diego, 388 S.
- Ernst Ott, Monika Frehner, Hans-Ulrich Frey, Peter Lüscher. *Gebirgsnadelwälder: praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung*/Bern, Stuttgart, Wien: Haupt, 1997. – S. 67.
- Frelich, L. E.; Lorimer, C. G. 1991. Natural disturbance regimes in hemlock-hardwood forests of the upper Great Lakes region. *Ecol. Monographs* 61: 145-164.
- Houghton, J. T.; Meira Filho, L. G., Callander, B. A.; Harris, N; Kattenberg, A., Maskell, K (Hrsg.) 1996. *Climate Change 1995 – the science of climate change*. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 572 S.

- Kellomäki, S.; Väisänen, H.; Kolsröm, T.; Lauhanen, R.; Mattila, U.; Pajari, B.** 1992. SIMA: a model for forest succession based on the carbon and nitrogen cycles with application to silvicultural management of the forest ecosystem. *Silva Carelica* 22: 91 S.
- Kirschbaum, M. U. F.; Fischlin, A.; Cannel, M. G. R.; Cruz, R. V. O.; Galinski, W.; Cramer, W.** 1996. Climate change impacts on forests. In: Watson, R.T. et al., *Climate Change 1995 – Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, 95-129.
- Korpel, S.** 1995. Die Urwälder der Westkarpaten. Fischer, Stuttgart, 310 S.
- Kozak I., Menshutkin V.** Computer simulation of forests Ecosystem Dynamics // *Biology Bulletin*, 26, 6, 1999. – P. 586-592.
- Kozak I., Menshutkin V., Józwińska M., Potaczala G.,** Modelling of beech forest dynamics in the Bieszczady Mountains in response to climate change // *Ecology*. (Bratislava). 22. 2, 2003a. – P. 152-161.
- Lertzman, K. P.; Sutherland, G. D.; Inselberg, A.; Saunders, S. C.** 1996. Canopy caps and the landscape mosaic in a coastal temperate rain forest. *Ecology* 77: 1254-1270.
- Loehle, C.; Leblanc, D.** 1996. Model-based assessments of climate change effects on forests: a critical review. *Ecol. Modelling* 90: 1-31.
- Pastor, J., Post, W. M.** 1988. Response of northern forests to CO<sub>2</sub>-climate change. *Nature* 334: 55-58.
- Pickett, S. T. A.; White, P. S.** (Hrsg.) 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, Orlando a.o., 472 S.
- Pretzsch H.** 1992. Zunehmende Unstimmigkeit zwischen erwartetem und wirklichem Wachstum unserer Waldbestände. Konsequenzen für zukünftige ertragskundliche Informationssysteme. *Forstwiss. Centralblatt* 111: 366-382.
- Schenk, H. J.** 1996. Modeling the effects of temperature on growth and persistence of tree species: A critical review of tree population models. *Ecol. Modelling* 92: 1-32.
- Shugart, H. H.; McLaughlin, S. B.** 1985. Modeling SO<sub>2</sub> effects on forest growth and community dynamics. In: Winner, W.E.; Mooney, H.A.; Goldstein, R.A. (Hrsg.). *Sulfur dioxide and vegetation: Physiology, ecology and policy issues*. Stanford Univ. Press, Stanford CA, 478-491.
- Solomon, A. M.** 1986. Transient response of forests to CO<sub>2</sub>-induced climate change: Simulation modelling experiments in eastern North America. *Oecologia* 68: 567-579.
- Szwagrzyk, J.** 1992. Small-scale spatial patterns of trees in a mixed *Pinus silvestris*-*Fagus sylvatica* forest. *For. Ecol. Manage.* 51: 301-315.
- Volz, R.; Nauser, M.; Schiess, C.; Küttel M.** 1988. Auswirkungen von Klimaänderungen: Fragen an die Forschung. *Umweltmaterialien* Nr. 93, BUWAL, Bern, 30 S.
- Watson, R. T.; Zinyowera, M. C.; R. H.** (Hrsg.) 1996. *Climate change 1995 – impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, 879 S.
- Watt, A. S.** 1925. On the ecology of British beechwoods with special reference to their regeneration. *J. Ecol.* 13: 27-73.
- Watt, A. S.** 1947. Pattern and process in the plant community. *J.Ecol.* 35: 1-22.

*Надійшла до редколегії 14.11.07*