

УДК 630*182.21:231:907.11:913

В. І. Парпан¹, Ю. С. Шпарик¹, І. І. Козак², В. В. Меншуткін³,
Р. М. Вітер¹, Т. В. Парпан¹, О. І. Козак², З. Е. Сенько²

ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МОДЕЛІ FORKOME

¹ Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва

² Люблінський Католицький університет (м. Люблін, Польща)

³ Міжнародний екологічний центр Польської академії наук
(м. Дзієконув Леськи, Польща)

На основі вивчення структури корінних і похідних деревостанів Українських Бескид автори провели прогнозування їх змін за допомогою моделі Forkome. За існуючих господарських і природних умов прогнозування структури основних деревостанів Надсянського заказника на 400 років показало закономірне формування природним шляхом корінних різновікових лісів з перевагою бука і ялиці. За умов сталого лісокористування модель підтвердила можливість стабілізації параметрів деревостанів з одночасним отриманням деревини за перші 50 років.

Ключові слова: прогнозування, структура деревостанів, різновікові бучини, стале лісокористування.

V. I. Parpan¹, Y. S. Shparyk¹, I. I. Kozak², V. V. Menshutkin³, R. M. Viter¹,
T. V. Parpan¹, O. I. Kozak², Z. E. Senko²

¹ Ukrainian Research Institute for Mountain Forestry

² Catholic University (Lublin, Poland)

³ International Center of Ecology of Polish Academi of Science (Poland)

PREDICTION OF FOREST ECOSYSTEMS' SUCCESSIONS USING FORKOME MODEL

Authors held a prediction of the forest successions with usage of FORKOME model on the basic of the stand structure investigations at Ukrainian Beskydy. Prediction of the tree biomass and tree number was aimed for the next 400 years for both native and derivative stands of Nadsyans'kyj landscape reserve. It shows the natural here forming uneven-age fir-beech stands. FORKOME model confirmed a possibility of the stand stabilization during next 50 years under sustainable forest management.

Keywords: prediction, stand structure, uneven-age beech stand, sustainable forest management.

Прогнозування динаміки лісових екосистем широко застосовується вченими-лісівниками в усіх галузях лісового господарства (Botkin et al., 1972; Shugart, 1984; Hong et al., 1999; Kozak, Menshutkin, 2000). Комп'ютерне моделювання дає можливість виконувати як практичні, так і теоретичні завдання. У галузі лісової екології найбільшого поширення набули *gap*-моделі, які прогнозують розвиток

лісової екосистеми за результатами аналізу росту дерев на малих площах і наявність на них прогалин («*gap*» – прогалина). На початку 1980-х р. *Shugart* з колегами розробили моделі для багатьох типів лісу та деревних видів (*Shugart*, 1984). Перші моделі були відносно простими (*Botkin et al.*, 1972; *Sullivan, Clutter*, 1972). Подальші дослідження обумовили ускладнення моделей. Окремими блоками було введено інформацію щодо ґрунтових процесів (*Pastor, Post*, 1985), фітосоціологічних умов росту (*Kienast*, 1987), структури крон дерев (*Leemans, Prentice*, 1989), екофізіологічних (*Friend et al.*, 1993) і біофізичних процесів росту (*Pawłowski*, 1996). Це дозволило отримувати більш детальні і достовірні прогнози сукцесій лісів. Окремим напрямком можна виділити екологічне прогнозування, яке передбачає наявність певних сценаріїв зовнішнього впливу на розвиток лісів (*Kozak et al.*, 2002): зміни кліматичного режиму, вплив на ліс диких тварин, проведення рубок. Тобто ці моделі дозволяють прогнозувати результати впливу на лісові екосистеми багатьох зовнішніх чинників. Зокрема, кліматичні зміни вже в найближчому майбутньому будуть суттєвими проблемами для лісоводів. Прогнозується, що до кінця 2100 р. середня температура в Європі підніметься на 2–3° С (*Puhe, Ulrich*, 2001) і, без сумніву, це викличе зміни в структурі лісів. Є багато гіпотез, як правильно передбачити вплив кліматичних змін на динаміку лісів (*Kozak, Menshutkin*, 2000; *Krauchi*, 1995; *Brzeziecki*, 1999). Дана публікація є одним з варіантів такого прогнозу.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для розуміння напрямків і характеристик сукцесій лісів Українських Карпат в природних лісах Надсянського ландшафтного регіонального заказника (Бескиди) закладено 23 постійні пробні площі в деревостанах основних місцевих лісових формацій, результати їх інвентаризації занесено в програму моделювання сукцесій («*Forkome*») і статистичними методами (*Monte-Carlo*) оцінено прогнози змін лісів на кожній із проб. Детальний опис моделі «*Forkome*» описано в попередніх публікаціях її авторів (*Hong et al.*, 1999), а механізми взаємодії окремих її блоків представлено на рис. 1. Також була зроблена спроба передбачити зміни цих лісів під впливом як кліматичних, так і антропогенних чинників. Постійні проби (25×25 м) закладені за загальноприйнятими в лісовій таксації методиками в деревостанах таких порід: бук (*Fagus silvatica* L.) – 17 проб, ялиця (*Abies alba* Mill.) – 4, ялина (*Picea abies* Karst.) – 1, береза (*Betula pendula* Roth.) – 1, ялівець (*Juniperus communis* L.) – 1 проба. Крім таксаційних параметрів усіх дерев з діаметром більше 4 см визначали також кількість природного відновлення, освітленість під наметом лісу та основні характеристики ґрунту.

Застосована в розрахунках модель має певні особливості, які забезпечують високу її достовірність в регіоні Українських Карпат. У ній враховано залежність транспірації не тільки від метеорологічних факторів (як у моделях, запропонованих *Shugart* (1984) та *Brzeziecki* (1999)), а також від основних деревних видів регіону. Аналогічна ситуація і по відношенню до кількості доступної вологи в ґрунті. Ріст кожного дерева в моделі описується трьома основними параметрами (висота, діаметр на висоті 1,3 м і вік), які прямують до своїх максимальних значень, закладених у моделі для району наших досліджень. При досягненні максимальних параметрів модель прогнозує відпад дерева. Поява природного відновлення окремих порід моделюється залежно від частоти насінневих років та кількості насіння, і сукцесії деревостану продовжуються. Оскільки модель є стохастична, то потребує контролю результатів. Для цього вона передбачає: по-перше, стимуляцію розвитку лісу на довгий період – до 600 років; по-друге, можливість в автоматичному режимі робити опосередкування результатів до 20 симуляцій (аналіз «*Monte-Karlo*»); по-третє, достовірність отриманих у самій моделі результатів також контролюється методами статистики.

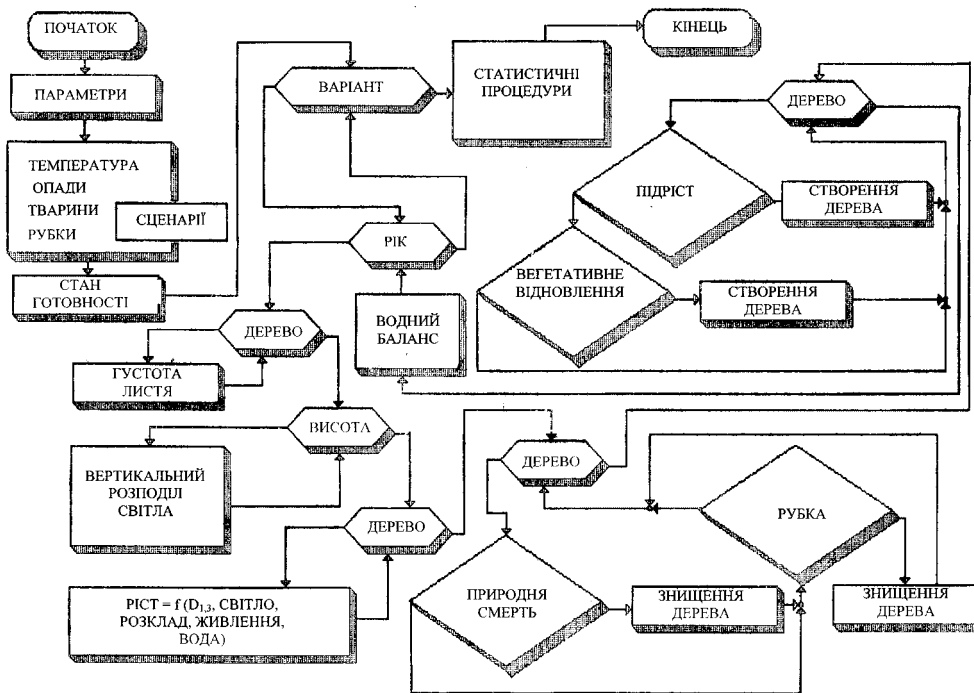


Рис. 1. Схеми роботи моделі «Forkome»

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Еколого-таксаційна характеристика деревостанів на пробних площах (табл. 1) засвідчує, що різновікові корінні бучини Бескид представлені змішаними деревостанами зі значною варіацією діаметрів (від 4 до 88 см) та висот (з 3 до 43 м) дерев (рис. 2). Тип розподілу дерев за діаметром має властивий для різновікових лісів спадний характер. Запас деревини є відносно низьким, що обумовлено невисокою повнотою. У наметі є багато прогалин, які утворилися внаслідок падіння перстійних дерев першого ярусу.

Таблиця 1

Характеристика деревостанів на пробних площах

Склад деревостанів	Середні значення			Запас, м ³ /га	Сухостій, м ³ /га	Площа крони одного дерева, м ²	рН ґрунту (водне)	Освітленість на висоті 1 м, лк
	Вік, роки	H, м	D, см					
Різновікові деревостани з перевагою бука								
6 Бк 3 Яц 1 Ял + Яв, од. Гор., Б	75	25,0	31,7	368,7	17,2	18,1	4,2	29100
Довготерміново-похідні деревостани з перевагою ялиці								
9 Яц 1 Ял од. В, Б	45	12,5	16,7	223,6	0,9	3,7	4,4	26950

Короткотерміново-похідні деревостани з перевагою ялини								
10 Ял од. Яц	55	18,0	21,8	205,0	3,4	6,8	4,8	56270
Вторинна сукцесія (деревостан на лісових землях)								
5 Ял 3 Яц 1 Лщ 1 Грб + + В од. Бк, Б, Яв, Ос	20	11,5	10,5	14,2	0,5	4,4	4,72	64380
Вторинна сукцесія (деревостан на сільськогосподарських землях)								
9 Ялв 1 Б од. Ос	15	1,8	3,3	1,6	0,1	0,7	5,63	86210

Розділ дерев за ярусами в різновікових бучинах утруднений у зв'язку з безперервним характером їх вертикального розподілу за висотою. Найбільша кількість дерев зосереджена в найтонших ступенях товщини, де домінує ялиця. У середніх ступенях участь дерев різних порід є найбільш рівномірною, але і тут переважає ялиця. Верхній ярус деревостану формують переважно бук і ялиця, участь явора і ялини є одиничною. Підлісок розвинений слабо – кущі бузини і ліщини. У підрості налічується 45 тис. ос./га складом 4 Бк 4 Яч 1 Яв 1 Г + Ял. Найбільшу густоту мають 2–3-річні особини висотою до 20 см, підрост понад 1 м складає лише 5 %.

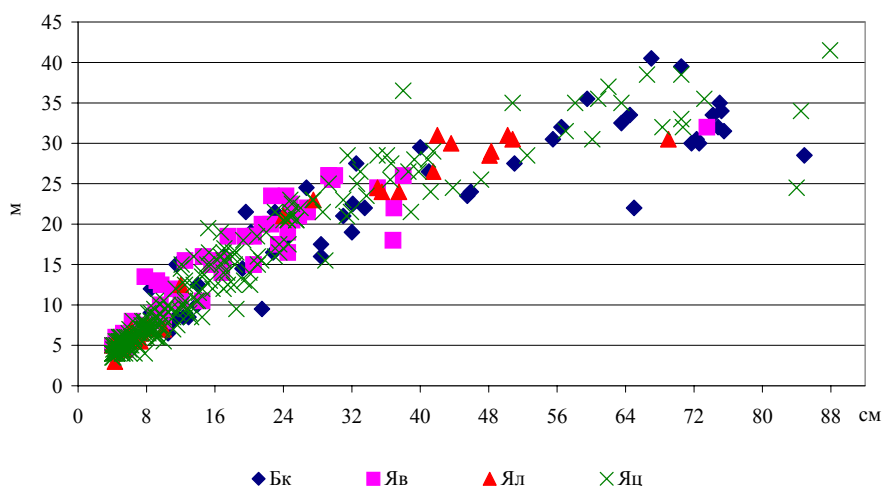


Рис. 2. Структура різновікової бучини за діаметром і висотою (площа проби 0,25 га)

Довготерміново-похідні деревостани ялиці мають значно спрощену структуру порівняно з корінними. Основний намет формують ялиця і ялина, причому участь останньої незначна. Меншим є також діапазон мінливості діаметрів та висот. Розподіл стовбурів за діаметром характерний для умовно-одновікових деревостанів. Запас деревини, зімкнутість крон та повнота є відносно високими завдяки великій кількості дерев ялиці різного діаметру та висоти. Підлісок відсутній, а підріст має склад 7 Яц 3 Ял у кількості 47 тис. ос./га. Домінує підріст ялиці висотою більше 1 м (75 %). Короткотерміново-похідні деревостани ялини є одновікові і монодомінантні. У значній мірі вони низькоповнотні, а підлеглі яруси – відсутні (табл. 1, рис. 3, 4).

Деревостани вторинних сукцесій формуються залежно від типу угідь. На лісових землях відновлюються переважно хвойні види (ялина і ялиця) з участю ліщини та горобини, рідше – верби, бука, берези, явора, осики. Зімкнутість таких деревостанів низька, що обумовлює невисокий запас деревини. Однак кількість дерев основних порід є достатньою для формування у віці 60 років корінного деревостану. На сільськогосподарських землях сукцесії розпочинаються з кущів ялівцю звичайного за участі берези повислої (табл. 1).

Середні результати прогнозування (20 симуляцій моделі «*Forkome*») сукцесій різновікової ялиново-ялицевої бучини на площі 1 га показали циклічні зміни біомаси бука та ялиці впродовж 400 років з перевагою першого. Участь ялини на рівні 5 % теж є постійна. Супутні породи мають фрагментарне представництво. Взагалі ці сукцесії відповідають загальноприйнятим в лісознавстві закономірностям лісових сукцесій (Погребняк, 1963), що підтверджує достовірність отриманих результатів. Моделювання сукцесії корінного деревостану на менших площах (25×25 м) показує більшу мінливість результатів. Так, на 5-й буковій пробі за існуючих умов модель прогнозує постійну перевагу бука в деревостані і досить суттєву присутність ялиці (рис. 5).

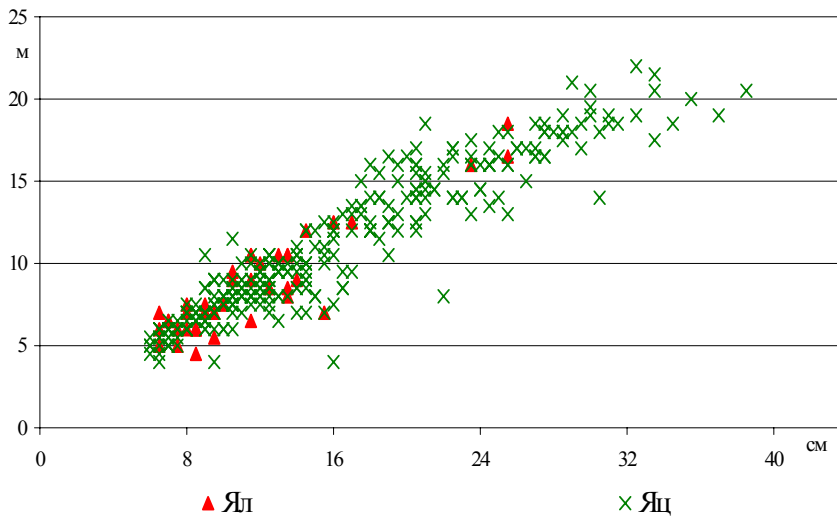


Рис. 3. Структура деревостану ялиці за діаметром і висотою (площа проби 0,25 га)

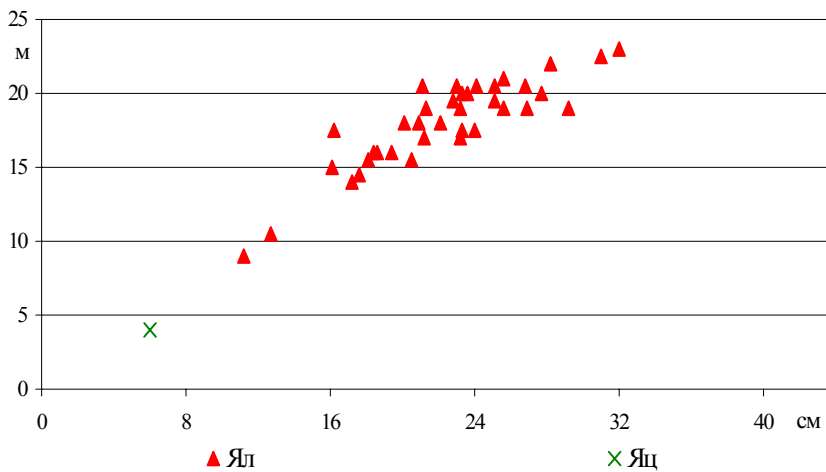


Рис. 4. Структура похідного ялинища за діаметром і висотою (площа проби 0,25 га)

Супутні деревні види за існуючих природних та господарських умов не мають постійного представництва: в перші 150 років присутній явір, пізніше з'являється ялина. Модель дозволяє також візуально оцінити результати прогнозів (рис. 6).

Якщо в сценарій моделі введено поступове потепління клімату, то за 400 років деревостан на 5-й буковій пробі зазнає таких змін: зникне ялина, зменшиться частка ялиці, збільшиться частка бука і явора. За умови похолодання клімату зміни прогнозуються значно суттєвіші: частка бука та ялиці зменшиться практично вдвоє, їх місце займе ялина, а явір випаде з деревостану. Практичний інтерес має прогнозування динаміки біомаси за різних сценаріїв проведення рубок. Оптимальним, на нашу думку, є проведення добровільно-вибіркових рубок дерев цільового діаметру в розмірі приросту. Це дозволяє підтримувати потрібне співвідношення порід у деревостані (рис. 7, 8).

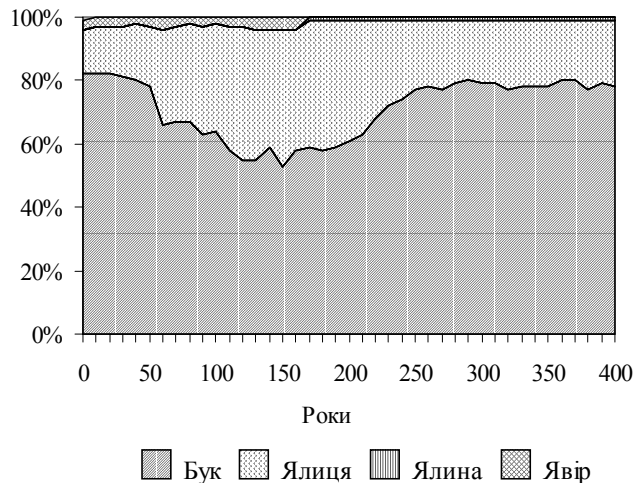


Рис. 5. Прогноз змін співвідношення біомаси деревних видів у бучині на 400 років за існуючих природних та господарських умов



Рис. 6. Вигляд корінної бучини Бескид через 400 років за існуючих умов

Прогнозування динаміки похідних деревостанів Бескид на найближчі 400 років з використанням моделі «*Forkome*» свідчить за загальну їх спрямованість на формування корінних бучин. Відмінністю між ялицевими та ялиновими лісами є те, що в першому випадку період зміни в корінні деревостани є дещо коротшим (на 50–150 років) залежно від віку дерев. Аналогічна вікова різниця існує в результатах прогнозування з урахуванням впливу зовнішніх чинників. Прогнозування сукцесій деревостанів на антропогенних територіях підтвердило стійку тенденцію до відновлення лісового покриву на колишніх нелісових землях.

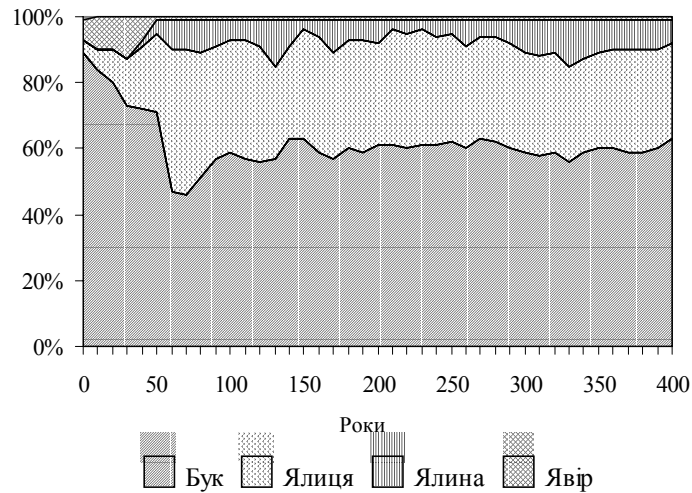


Рис. 7. Прогноз змін співвідношення біомаси деревних видів у бучині на 400 років за умов проведення добровільно-вибіркових рубок

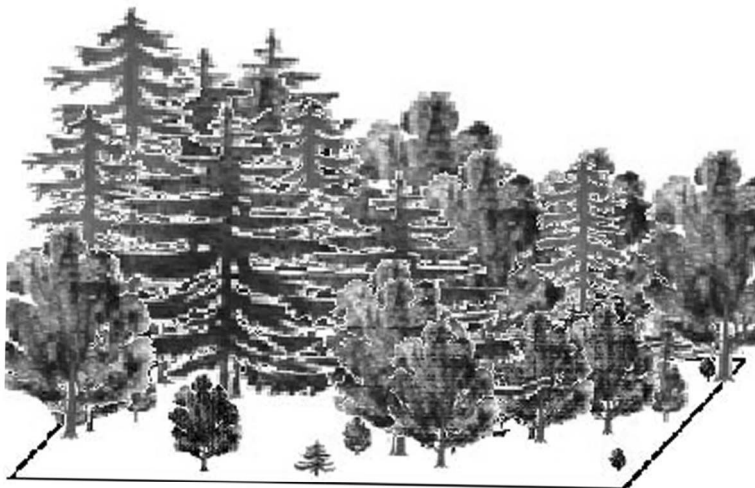


Рис. 8. Вигляд корінної бучини Бескид через 400 років за сталого лісокористування

ОБГОВОРЕННЯ

В Українських Бескидах корінні лісові угруповання формують три основні породи: бук, ялиця і ялина. Часто зустрічаються також явір, клен гостролистий, граб і береза. Для місцевих лісоутворюючих порід потреби в ґрунтовому живленні є подібними, але окремі біологічні відмінності щодо вологості, температури й освітленості дозволяють їм формувати змішані багатоярусні деревостани. Через антропогенний вплив у минулому природні різновікові ялиново-ялицеві бучини в регіоні зустрічаються рідко. Близькими до них є деревостани на описаних вище пробах з перевагою бука як об'єкт наших досліджень. Збереглися такі деревостани у важкодоступних для транспорту місцях. У більшості в Карпатах ростуть антропогенно-перетворені ліси з перевагою ялиці і різною участю бука та ялини. Це обумовлено високою конкурентоздатністю природного відновлення ялиці. Переважно це умовно-одновікові високоповнотні деревостани. Поблизу населених пунктів часто зустрічаються монокультури ялини – зріджені середньовікові прості деревостани, часто з підростом ялиці, бука і кленів.

Сучасна економічна (занепад колективних сільськогосподарських господарств) та історична (організація Надсянського ландшафтного заказника) ситуація в регіоні досліджень сприяє відновленню лісового покриву на значній території нелісових земель. На колишніх сільськогосподарських угіддях цей процес починається з появи ялівцю з невеликою участю берези та осики. Ділянки, які інтенсивно не використовуються вже більше 10 років, заросли ялівцем. На інших землях кількість кущів визначається інтенсивністю їх сучасного використання. Нелісові землі в межах лісових масивів заростають хвойними породами з невеликою часткою листяних видів. Таксаційні характеристики таких лісів залежно від періоду заростання та місцевих умов є мінливі.

Математичне моделювання сукцесій основних типів деревостанів в Українських Бескидах показує, що напрямки природних змін у них орієнтовані на формування корінних лісів. За умови зовнішнього невтручання в ці зміни їх результати для кожного лісового виділу стануть однотиповими не менше як через 400 років. Якщо врахувати дію зовнішніх чинників, то згладжування результатів відбудеться ще пізніше, а за певних умов (цілеспрямоване господарювання) може не відбутися взагалі. Це означає, що на прикладі Надсянського заказника маємо полігон з вивчення природних змін у лісах Карпат, що дозволить перенести закономірності цих змін на інші території регіону.

Важливим результатом даного прогнозування є те, що проведення добровільно-вибіркових рубок (навіть на рівні поточного приросту) дозволяє в більшості деревостанів уже протягом перших 50 років стабілізувати таксаційні характеристики лісів та об'єми лісокористування в них. Таким чином досягається сталість у веденні лісового господарства, а також, як свідчать літературні джерела, – і в максималізації захисної ефективності лісів (Garfitt, 1995; Zingg et al., 1999; Наукові основи ..., 2002). За умови використання суцільно-лісосічних рубок у веденні лісового господарства досягнути стабільності на невеликих ділянках лісу практично неможливо, за коливання захисної ролі лісових екосистем в гірських умовах.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз картографічних матеріалів та сучасної структури лісів Надсянського ландшафтного заказника дозволив виділити тенденції в лісових сукцесіях: відновлення лісового покриву на землях, які не використовуються людиною; успішне формування близьких до пралісових екосистем з різновікових корінних бучин; відновлення позицій ялиці в лісах через природне відновлення.

2. Прогнозування динаміки структури основних деревостанів заказника на 400 років показує поступове формування природним шляхом корінних різновікових деревостанів з перевагою бука і ялиці. За умов сталого лісокористування модель підтверджує можливість стабілізації параметрів деревостанів з одночасним отриманням деревини вже за перші 50 років. Якщо клімат буде поступово теплішати, то з

деревостанів заказника через 400 років практично зникне ялина, а частка ялиці зменшиться. Їх місця в насадженнях займуть бук і явір.

3. Використання моделі «*Forkome*» дає можливість спрогнозувати зміни в лісах під впливом зовнішніх чинників на перспективу в 600 років. Це дозволяє обґрунтовувати стратегічні управлінські рішення в лісовому господарстві і передбачати кон'юнктуру окремих порід на ринку деревини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Botkin, D. B., Janak F. J., Wallis, J. R. Some ecological consequences of computer model of forest growth // *J. Ecol.* – 1972. – Vol. 60. – P. 649-873.

Shugart H. H. *Theory of forest Dynamics.* – N.-Y.: Springer Verlag, 1984. – 278 p.

Hong, S. He., David, J. Mladenoff T., Crow R. Linking an ecosystem model and a landscape model to study forest species response to climate warming // *Ecological Modelling.* – 1999. – 114. – P. 213-233.

Kozak I., Menshutkin V. 2000: Possibilities of application of computer modelling for prediction of tree stand succession dynamics on the example of fir-beech tree stand in the Bieszczady Mountains // *Forestry.* – 2000. – 3. – P. 113-122.

Sullivan, A. D., Clutter, J. L. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine // *Forestry Science.* – 1972. – 18. – P. 76-86.

Pastor, J., Post, W. M., 1985. Development of a linked forest productivity-soil process model. U.S. Dept. of Energy, ORNL/TM-9519, 73 p.

Kienast, F., 1987. FORECE – A forest succession model for southern central Europe. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, ORNL/TM 10575, 69 p.

Leemans, R. and Prentice, I.C., 1989. FORSKA, a general forests succession model. Institute of Ecological Botany, Uppsala, 70 p.

Friend, A. D., Shugart, H. H., Running, S. W., 1993. A physiology-based gap model of forest dynamics. *Ecology*, 74. – P. 792-797.

Pawłowski, W. J. 1996. Computer simulation of growth of a spruce stand using the PICEAT model. *Ekol. Pol.* V. 44, No 3-4, p. 333-349

Kozak, I., Menshutkin V., Józwińska M., Potaczała G., 2002. Computer simulation of fir forest dynamics in Bieszczady Mountains in response to climate change. *Journal of Forest Science.* Prague. 48 (10), p. 425-431.

Puhe, J., Ulrich, B., 2001: Global climate change and human impacts on forest ecosystems. *Postglacial Development, Present Situation, and Future Trends in Central Europe.* Springer. - 362 p.

Krauchi, N., 1995: Application of the model FORSUM to the Solling spruce site. *Ecological Modelling* 83, p. 219-228.

Brzeziecki, B., 1999: *Ecologiczny model drzewostanu. Zasady konstrukcji, parametryzacja, przykłady zastosowań.* Warszawa. - 115 p.

Погребняк П. С. *Общее лесоводство.* - М.: Сельхозиздат, 1963. - 366 с.

Garfitt, J. E. *Natural Management of Woods – Continuous Cover Forestry.* – Taunton, Research Studies Press Ltd., 1995. - 152 p.

Zingg, A., Erni, V., Mohr, C., 1999: Selection Forests – A Concept for Sustainable Use: 90 Years of Experience of Growth and Yield Research Selection Forestry in Switzerland. – In: Emmingham, W.H. (comp.) *Proceedings of the IUFRO Inter disciplinary Uneven – aged Management Symposium, September 1997.* Corvallis, Forest Research Laboratory, Oregon State University, p. 415 – 434

Наукові основи сталого лісокористування Українських Карпат / В. І. Парпан, Ю. С. Шпарик, А. Вуєргі та ін. // *Гори і люди (у контексті сталого розвитку).* – Рахів, 2002. – Т. 1. – С. 433-437.

Надійшла до редколегії 15.03.04