

КЛІМАТОГЕННА ОБУМОВЛЕНІСТЬ І ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ СЕЗОННОЇ РИТМІКИ ОСНОВНИХ ЛІСОТВІРНИХ ПОРІД ПІВНІЧНО- СХІДНИХ КАРПАТ

І. В. БЕЛЬМЕГА, аспірант, <https://orcid.org/0009-0007-2524-6217>

E-mail: belmegaivan@gmail.com

Державний університет «Житомирська політехніка»

В. О. ХРУТЬБА, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри

<https://orcid.org/0000-0002-8121-2042>

E-mail: victoriia.khrutba@gmail.com

Національний транспортний університет

М. В. МОТРУК, науковий співробітник

E-mail: mishamotr@meta.ua

Р. Л. КРАВЧИНСЬКИЙ, кандидат географічних наук, провідний науковий
співробітник, <https://orcid.org/0000-0003-3769-3106>

E-mail: kravchinski@ukr.net

Карпатський національний природний парк

[https://doi.org/10.31548/dopovidi.2\(108\).2024.002](https://doi.org/10.31548/dopovidi.2(108).2024.002)

Анотація. У статті висвітлено особливості багаторічної зміни (2000-2022 рр.) сезонних фаз розвитку основних лісотвірних порід (ялина європейська – *Picea abies*, ялиця біла – *Abies alba* та бук лісовий – *Fagus sylvatica*) у межах помірного кліматичного поясу на території Карпатського національного природного парку.

У роботі використано комплекс польових, інструментальних, лабораторних, аналітичних та математико-статистичних досліджень, а також низку методів, що застосовуються у фенології та метеорології.

За результатами проведення статистичного аналізу виявлено значний вплив атмосферних опадів, що випадають у березні на початок набухання бруньок (види *Picea abies*, *Fagus sylvatica*), початок цвітіння (види *Picea abies*, *Abies alba*), початок дозрівання плодів (види *Picea abies*, *Fagus sylvatica*) та початок розсіювання плодів (види *Picea abies*, *Abies alba*).

У публікації показано, що мінімальні температури повітря у липні значно впливають на фенологічні явища, які розпочинаються і тривають у цей час та пізніші строки, зокрема, на початок дозрівання плодів (види *Abies alba*, *Fagus sylvatica*) та початок розсіювання плодів (в усіх видів). Існування тісних і помірних кореляційних зв'язків між максимальними температурами січня-лютого та фенологічними явищами (у виду *Picea abies* – датами початку наростання пагонів і початку цвітіння; у виду *Abies alba* – датами початку цвітіння і початку дозрівання плодів; у виду *Fagus sylvatica* – датами початку набухання бруньок та початку цвітіння) може свідчити про значний вплив ґрунтового живлення (що формується від талих вод у цей період) на сезонну

ритміку рослин.

Найбільш складним для моделювання виявилось явище початку цвітіння дерев, на формування якого впливають усі задіяні кліматичні предиктори – атмосферні опади, мінімальна та максимальна температури повітря.

За результатами досліджень здійснено первинне довгострокове прогнозування реакції місцевих лісових культур на ймовірні кліматичні зміни і виявлено, що навіть за найгіршим сценарієм (RCP 8.5) дати настання усіх фенологічних явищ модельних видів дерев будуть знаходитись у межах розмаху вибірки фактичних даних періоду спостережень 2000-2022 рр.

Ключові слова: Північно-Східні Карпати, Карпатський національний природний парк, лісові екосистеми, кліматичні зміни, сезонна ритміка рослин, фенологія.

Актуальність. Протягом тисячоліть клімат був визначальним фактором поширення рослинності по всьому світу. Переважна більшість існуючих видів рослин схильні до постійних перетворень у просторі і часі – адаптуються, змінюють ареали існування, еволюціонують і відмирають (Helms, 2007).

У внутрішньорічному відношенні сучасні температурні перетворення планетарного масштабу створюють ризики прямого впливу на початок, закінчення вегетації рослин та інші показники їх сезонної ритміки (Сімонов, Дідух, 2013), таким чином визначаючи фенологію як одну із найбільш показових біологічних реакцій на зміни клімату (Menzel et al., 2020; Monahan et al., 2016). Особливо актуально це для лісових формацій – найдавнішого і найпродуктивнішого типу рослинності, яка відіграє пріоритетну екологічну роль в еволюції біосфери та підтриманні її упорядкованості. За даними (Генсірук, 2002) у сучасний період глобального потепління

клімату повсюдно на Землі площі лісових ландшафтів продовжують катастрофічно зменшуватися.

Розглядаючи регіональний аспект актуальності досліджень слід відзначити значну лісистість Карпатського регіону, де за даними (Генсірук, 2002) зосереджено близько 20 % лісів України. Частина з них – близька за станом до природних і входить до мережі природно-заповідного фонду України (Петрова, Третяк, 2003). Тому менеджерам природоохоронних територій розуміння фенологічних закономірностей і тенденцій дає можливість для врахування ймовірних наслідків зміни клімату на лісові екосистеми, що можуть відбуватись впродовж наступного століття (Monahan et al., 2016).

Таким чином, вивчення кліматогенних змін сезонної ритміки дерев на території Північно-Східних Карпат є винятково необхідним для збереження місцевого біорізноманіття, вивчення його екологічної стійкості, створення

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

прогностичних моделей можливих змін, трансформацій видового складу лісових екосистем, їх відновлення, ефективного управління, кліматичної адаптації тощо, а також важливим для розвитку науки (у тому числі для удосконалення системи феноспостережень) та ведення навчально-освітнього процесу, до якого залучені установи природно-заповідного фонду України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні десятиліття на фоні стрімкого підвищення глобальних температурних показників повсюдно у світі спостерігається активізація різнопланових досліджень з вивчення трансформаційних процесів лісових масивів та фенологічних фаз різних деревних порід. Кліматогенний вплив на зміну сезонної ритміки та темпу розвитку основних лісотвірних порід на європейському континенті в сучасних умовах відмічається повсюдно : на території Південної Європи (Bigler та ін., 2006; Raftoyannis та ін., 2008; Affolter та ін., 2010), включаючи Італію (Giuggiola та ін., 2010; Bertini та ін., 2011), на Кіпрі (Звіт ECHOES: Кіпр, 2009) та в Греції (Raftoyannis та ін., 2008), а також у Бельгії (Kint та ін., 2012), Швейцарії (Rigling та ін., 2013), а також передальпи у Франції (Rouault та ін., 2006; Allen та ін., 2010; Charru та ін., 2010).

Проблематика зменшення лісистості Українських Карпат та

аналіз впливу кліматогенних факторів на зміни фенологічних фаз дерев в цілому та окремих порід підіймалася у працях вчених Ужгородського національного університету (В.І. Комендар, С.С. Фодор, 1986; Л.М. Фельбаба-Клушина, 2009а, 2009б, 2010; І.Ю. Фекета, 2013), Національного лісотехнічного університету України (М.В. Чернявський та ін., 2000), Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України (В.М. Багнюк, Я.П. Дідух, 2002; Я.П. Дідух, 2023) Львівського національного університету імені Івана Франка (І.П. Ковальчук, А.Б. Михнович, 2004); Інституту екології Карпат НАН України (С.М. Стойко, 2006, 2011); Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (І.Ф. Калуцький, 2008; В.С. Олійник, 2008); Інституту економіки природокористування та сталого розвитку НАН України (Я.В. Коваль, 2008) (Дідух та ін., 2016).

За результатами досліджень (Сімонов, Дідух, 2013) виявлено, що сильні морози у майбутньому, ймовірно, обмежують поширення вид *Picea abies* на північному заході України, де межа ареалу проходить паралельно лініям кріорежиму. Відмічено кореляцію показників континентальності клімату з ареалом виду на його південно-східній межі. Очевидно, одним з важливих факторів, що обмежує поширення *P.*

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

abies на південь, є гумідність клімату.

У спільній праці фахівців Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника та Національного лісотехнічного університету України (Шпарик та ін., 2020) показано, що вплив клімату на подовження тривалості вегетаційного періоду є вагомою причиною змін у складі рослинних субформацій і формацій на території Українських Карпат : зокрема відзначається різке зменшилися площ природного поширення ялинових деревостанів і збільшення букових та ялицевих. Тому фенологічні спостереження є невід’ємною частиною досліджень, що проводяться у національних природних парках та заповідниках України і входять до написання «Літопису природи» – наукового документа, в якому сконцентровано основні результати вивчення процесів і явищ на територіях природо-заповідного фонду за відповідний рік (Програма літопису природи, 2002).

Глобальними дослідженнями кліматичних перетворень та їх вплив на різні природні екосистеми (у тому числі на зміну фенології деревної рослинності) займаються три основні центри : Всесвітня метеорологічна організація (World Meteorological Organization – WMO), Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору (NASA) та Міжурядова група експертів зі зміни клімату (IPCC)

Існуючі бази даних та фонди

наукових досліджень про потенційний вплив зміни клімату на дендрофенологію постійно поповнюються і розширюються. Однак, незважаючи на це існує розрив у знаннях і комунікації між вченими та ненауковцями щодо того, як можна інтерпретувати сценарії впливу зміни клімату та що вони означають для лісів (Lindner et al., 2014).

Метою досліджень було виявити взаємозв’язки між датами настання основних фенологічних фаз розвитку домінуючих лісотвірних порід Північно-Східних Карпат та прогнозування ймовірних фенологічних інверсій у довгостроковій перспективі.

Досягнення поставленої мети передбачало послідовну реалізацію наступних **завдань**: 1) збір та систематизація фенологічних та кліматичних даних за багаторічний період; 2) аналіз основних закономірностей настання та проходження фенологічних фаз модельних видів дерев в сучасних кліматичних умовах; 3) прогнозування ймовірних змін сезонної ритміки досліджуваних порід у довгостроковій перспективі.

Матеріали і методи досліджень. Вихідними матеріалами для проведення досліджень були результати фенологічного моніторингу на території північної частини Карпатського національного природного парку (НПП) за період 2000-2022 рр. (23 роки) та багаторічні

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

дані спостережень за метеорологічними показниками у м. Яремче (мережа Карпатської селестокової станції УкрГМЦ ДСНС України). Для встановлення кліматичної обумовленості сезонної ритміки місцевої деревної флори було обрано три модельні види – основні лісотвірні для даного регіону : ялина європейська (*Picea abies* (L.) Karst.; далі у тексті – *Picea abies* або *P.a.*), ялиця срібна (*Abies alba* Mill.; далі у тексті – *Abies alba* або *A.a.*) та бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.; далі у тексті – *Fagus sylvatica* або *F.s.*) і 5 показників фенологічних явищ (набухання бруньок (**B**), наростання пагонів (**R**), цвітіння (**F**), дозрівання плодів (**D**) та розсівання плодів (**S**).

Створення бази даних та комплексної обробки інформації передбачало використання комп'ютерних засобів і програмного забезпечення загального та спеціального призначення (табличний процесор Microsoft Office Excel, програмний пакет для статистичного аналізу Statistica 10 та повнофункціональну геоінформаційну систему MapInfo Professional 11.0).

Сила кореляційного зв'язку проводилось за градаціям : $0,0 < [r_s] \leq 0,19$ – дуже слабкий зв'язок; $0,2 < [r_s] \leq 0,39$ – слабкий; $0,4 < [r_s] \leq 0,59$ – помірний; $0,6 < [r_s] \leq 0,79$ – сильний; $0,8 < [r_s] \leq 1,0$ – дуже сильний.

В основу довгострокового прогнозування змін фенологічних явищ покладено дані генератора погоди MarkSim, який дозволяє побачити основні сценарії перетворень до 2095 р. відповідно до різних кліматичних моделей.

Таким чином, у роботі використано комплекс польових, інструментальних, лабораторних, аналітичних досліджень, а також низку методів, що застосовуються у фенології (Киселюк та ін., 2006) та метеорології.

Результати досліджень та їх обговорення.

Загальна характеристика території досліджень. Відповідно до схеми геоботанічного районування Українських Карпат територія досліджень знаходиться у межах округу букових карпатських лісів, району смереково-ялицево-букових і ялицево-смереково-букових пригорганських лісів, де лісова рослинність незначною мірою порушена людиною (рис. 1А) (Голубець, 2003).

Для розробки первинної методичної схеми вивчення кліматогенних змін сезонної ритміки дерев та апробації її ефективності було вивчено процеси і явища на абсолютних висотах 600-800 м н. р. м., що відображає особливості помірного висотного кліматичного поясу Карпат (див. рис. 1Б).

Проведені дослідження у загальному охоплюють площу

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

близько 160 км². З геоморфологічної точки зору – це територія міжгірських долин суббасейну р. Прут. Середня температура повітря у липні (найбільш теплого місяця року) тут становить близько +14 – +18°C, найхолоднішого – змінюється від -5°C до -7°C; за рік випадає понад 900 мм атмосферних опадів (Карпатський національний природний парк, 2009).

Існує низка тверджень, що головним фактором сезонної ритміки природи є термічний режим. Злами в річному ході температур викликають

різкі зміни всіх природних процесів, що призводить до зміни сезонів та субсезонів року (Програма літопису природи, 2002). Проте на практиці виявлено, що значний вплив на розвиток деревної рослинності здійснюють й інші предиктори. Для вивчення зав'язків фенологічних явищ з кліматичними показниками в умовах Північно-Східних Карпат було проведено комплексний аналіз фактичного матеріалу з використанням статистичних методів і наведено далі у тексті.

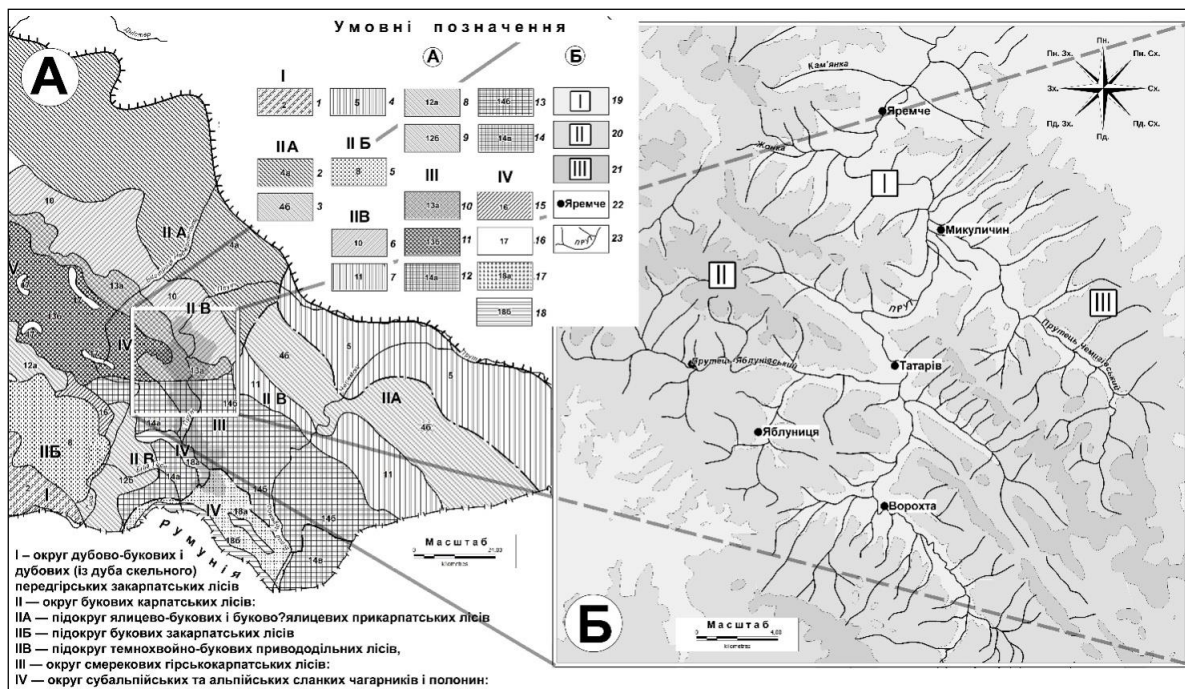


Рис. 1. Картосхема території досліджень (А – Фрагмент картосхеми геоботанічного районування Українських Карпат (Голубець, 2003) та Б – кліматичне зонування території досліджень) :

1-18 – назви геоботанічних районів та підрайонів (1 – дубово-букових і буково-дубових лісів Хустсько-Солотвинської улоговини; 2-3 – ялицево-букових передгірських лісів з підрайонами: 2 – Передгірським, 3 – Покутсько-Буковинським; 4 – дубово-букових лісів та остепненої лучної рослинності Прут-Сіретського межиріччя; 5 – букових лісів південного мегасхилу Полонинського хребта; 6 – **смереково-ялицево-букових і ялицево-смереково-букових пригорганських лісів**, 7 – смереково-ялицево-букових і смереково-буково-ялицевих покутсько-буковинських лісів; 8-9 – смереково-ялицево-букових, смереково-буково-ялицевих і смереково-букових закарпатських лісів з підрайонами : 8 – Міжгірським і 9 – Рахівським; 10-11 – смерекових горганських лісів з підрайонами 10 – ялицево-буково-смерекових горганських лісів і 11 – смерекових вододільно-горганських лісів; 12-14 – смерекових чорногірсько-

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

мармароських лісів з підрайонами : 12 – буково-ялицево-смерекових верхньотиських лісів, 13 – ялицево-буково-смерекових ворохтянсько-путильських лісів, 14 – чистих смерекових чивчинсько-мармароських лісів; 15 – щільнодернинних лук, ялівцевих і душекєєвих заростей з фрагментами альпійської рослинності середньогірського Полонинського хребта, 16 – мохово-лишайникових пустищ, кам'яних розсипищ і гірськососнин Горган; 17-18 – сланких гірськососнин у поєднанні з душекєєвниками, рододендронниками, субальпійськими та альпійськими луками чорногірсько-мармароського високогір'я з підрайонами 17 – Чорногірсько-Гринявським і 18 – Чивчинсько-Мармароським.

19-23 – кліматичні пояси (I – помірний, II – прохолодний, III – помірно холодний); 26 – населений пункт; 27 – річка (водотік).

Кліматична обумовленість фенологічних фаз. За результатами досліджень виявлено, що *набухання бруньок (В)* у виду *Picea abies*

розпочинається у другій, а у видів *Abies alba* і *Fagus sylvatica* у третій декаді квітня (табл. 1).

1. Середні багаторічні дані настання (t_0) та тривалість (N , дні) фенологічних явищ у межах помірного кліматичного поясу території Карпатського НПП (600-800 м н.р.м.)

Вид		Picea abies		Abies alba		Fagus sylvatica	
Явище фенологічне		t_0	N	t_0	N	t_0	N
Набухання бруньок		18.04	–	23.04	–	21.04	–
Наростання пагонів	початок	13.05	103	04.05	55	15.05	33
	кінець	23.08		27.06		16.06	
Цвітіння	початок	07.05	24	09.05	22	10.05	34
	кінець	30.05		30.05		12.06	
Дозрівання плодів	початок	22.08	49	04.09	38	21.08	29
	кінець	09.10		11.10		18.09	
Початок розсівання плодів		28.10	–	12.10	–	22.09	–

На дату початку набухання бруньок ялини європейської і бука лісового впливає кількість опадів, що

випадає у березні (P_{III} ; $r = -0,45$ та $r = -0,73$ відповідно); у ялиці – у січні-лютому (P_{I-II} ; $r = -0,29$) (рис. 2).

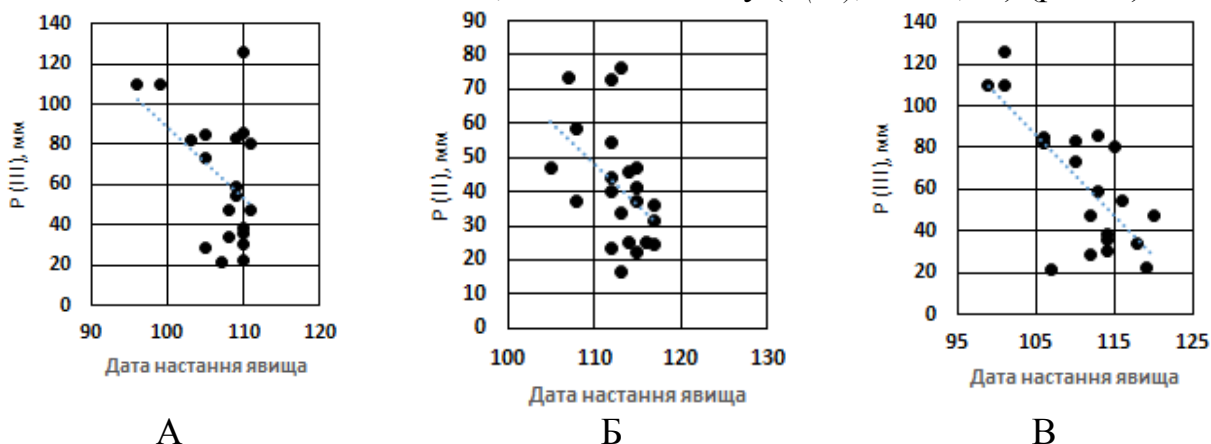


Рис. 2. Графіки залежності дати початку набухання бруньок (А – ялина європейська, Б – ялиця звичайна, В – бук лісовий) від атмосферних опадів ($P_{(n)}$)

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

Дата наростання пагонів (R) ялини європейської у середньому припадає на другу декаду травня і триває близько 103 дні. Показник $R_{поч.(P.a.)}$ має сильний кореляційний зв'язок із максимальними температурами січня ($t_{max.(I)}$; $r = -0,74$), слабку залежність від мінімальних температур повітря січня-лютого ($t_{min.(I-II)}$; $r = -0,31$, $r = -0,26$) і кількості атмосферних опадів березня (P_{III} ; $r = -0,33$).

У ялиці явище наростання пагонів розпочинається 28.04-13.05 і має помірну статистичну залежність від кількості атмосферних опадів, що випадають у березні (P_{III} ; $r = -0,42$). Явище фенологічного розвитку пагонів бука лісового зазвичай відмічається 10-22.05 і залежить від мінімальних температур повітря у березні та квітні ($t_{min.(III-IV)}$; $r = -0,40$; $r = -0,46$).

Дата початку процесу цвітіння (F) виду *Picea abies* припадає на 1-2 декаду травня і триває у середньому 24 календарні дні. Показник $F_{поч.(P.a.)}$ має помірний кореляційний зв'язок із кількістю атмосферних опадів, що спостерігаються у березні (P_{III} ; $r = -0,56$), мінімальних ($t_{min.(I)}$; $r = -0,64$) та максимальних температур січня ($t_{max.(I)}$; $r = -0,58$).

Цвітіння ялиці срібної у часі є близьким до вище описаного виду (див. табл. 1). Характеристика $F_{поч.(A.a.)}$ має помірну залежність від кількості атмосферних опадів, що випадають у березні (P_{III} ; $r = -0,43$),

мінімальних температур повітря у січні ($t_{min.(I)}$; $r = -0,37$), травні ($t_{min.(V)}$; $r = 0,35$) і максимальних показників у січні ($t_{max.(I)}$; $r = -0,64$), березні ($t_{max.(III)}$; $r = -0,33$), травні ($t_{max.(V)}$; $r = -0,31$).

Вид *Fagus sylvatica* починає цвісти у період 22.04-19.05; тривалість явища – 34 дні. Характеристика $F_{поч.(F.s.)}$ має слабку залежність від кількості атмосферних опадів, що випадають у лютому і травні ($P_{II, IV}$; $r = -0,31$; $0,35$), мінімальної температури повітря у травні ($t_{min.(V)}$; $r = 0,37$) та максимальних температур повітря у лютому-травні ($t_{max.(II-V)}$; $r = -0,41$; $-0,33$; $-0,50$; $-0,52$).

Початок дозрівання плодів (D) у виду *Picea abies* припадає на 15-25.08 і триває близько 50 календарних днів. Величина $D_{поч.(P.a.)}$ статистично залежить від кількості опадів, що випадає у липні (P_{VII} ; $r = -0,27$), мінімальної температури повітря серпня ($t_{min.(VIII)}$; $r = 0,34$) та максимальних температурних показників попередніх місяців ($t_{max.(V-VII)}$; $r = -0,33$; $-0,24$; $-0,33$).

Явище дозрівання плодів *Fagus sylvatica*, як і у попередньому випадку припадає на II-III декаду серпня (18-28.08) і триває 29 днів. Динаміка показника $D_{поч.(F.s.)}$ статистично пов'язана із зміною атмосферних опадів ($P_{VI-VIII}$; $r = 0,53$; $-0,24$; $0,35$) і мінімальною температурою повітря у липні ($t_{min.(VII)}$; $r = 0,37$).

Строки настання явища дозрівання плодів у ялиці срібної

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

розпочинаються дещо пізніше – 01-10.09 і мають помірну залежність від мінімальної ($t_{min.(VII)}$; $r = -0,42$) та середньомісячної температури повітря у липні ($t_{сер.(VII)}$; $r = -0,54$); тривалість явища – 38 днів.

Початок розсівання плодів (S) ялини європейської варіює у дуже широкому діапазоні – 20.10-23.11 і має слабкий кореляційний зв'язок із кількістю атмосферних опадів жовтня-листопада ($P_{(X-XI)}$; $r = -0,24$; 0,27).

Розсіювання плодів ялиці розпочинається 09-20.10 і залежить від кількості атмосферних опадів, що випали у жовтні ($P_{(X)}$; $r = -0,45$) та меншою мірою від максимальних

температур серпня-жовтня ($t_{max.(VIII-X)}$; $r = -0,25$; -0,36; -0,26)

Особливість бука лісового – найбільш ранній початок розсіювання плодів (18-25.09). Показник $S_{поч.(F.s.)}$ залежить від кількості дощових опадів серпня ($P_{(VIII)}$; $r = -0,44$) та середньомісячних температур повітря серпня-вересня ($t_{сер.(VIII-IX)}$; $r = 0,44$; 0,36).

Таким чином, особливості фенологічного розвитку (Ph) основних лісотвірних порід Північно-Східних Карпат з врахуванням найбільш значимих кореляційних зв'язків можна описати сукупністю лінійних і степеневих регресійних залежностей:

$$\begin{aligned}
 Ph_{(P.a.)}(t) &= \left\{ \begin{aligned} B_{поч.(P.a.)}(t_0) &= -0,0005 \cdot P_{(III)}^2 + 0,0137 \cdot P_{(III)} + 108,94; \\ R_{поч.(P.a.)}(t_0) &= -0,019 \cdot t_{max.(I)}^2 - 0,1895 \cdot t_{max.(I)} + 134,21; \\ F_{поч.(P.a.)}(t_0) &= -0,043 \cdot P_{(III)} + 130,7; -0,2989 \cdot t_{min.(I)} + 123,13; -0,4055 \cdot t_{max.(I)} + 129,82; \\ D_{поч.(P.a.)}(t_0) &= -0,1627 \cdot t_{max.(VII)} + 237,7; \\ S_{поч.(P.a.)}(t_0) &= -0,0867 \cdot P_{(XI)} + 302,6. \end{aligned} \right\} \\
 Ph_{(A.a.)}(t) &= \left\{ \begin{aligned} B_{поч.(A.a.)}(t_0) &= -0,0902 \cdot P_{(II)} + 116,56; \\ R_{поч.(A.a.)}(t_0) &= -0,0441 \cdot P_{(III)} + 126,57; \\ F_{поч.(A.a.)}(t_0) &= -0,0319 \cdot P_{(III)} + 130,9; -0,1843 \cdot t_{min.(I)} + 126,27; -0,4838 \cdot t_{max.(I)} + 131,54; \\ D_{поч.(A.a.)}(t_0) &= -0,4478 \cdot t_{min.(VII)} + 251,91; \\ S_{поч.(A.a.)}(t_0) &= -0,0455 \cdot P_{(X)} + 288,13. \end{aligned} \right\} \\
 Ph_{(F.s.)}(t) &= \left\{ \begin{aligned} B_{поч.(F.s.)}(t_0) &= -0,1396 \cdot P_{(III)} + 119,76; \\ R_{поч.(F.s.)}(t_0) &= 0,1888 \cdot t_{min.(III)} + 135,63; 0,5601 \cdot t_{min.(IV)} + 134,86; \\ F_{поч.(F.s.)}(t_0) &= -0,1391 \cdot P_{(II)} + 135,8; 1,0915 \cdot t_{min.(V)} + 124,6; -0,9751 \cdot t_{max.(IV)} + 143,35; \\ D_{поч.(F.s.)}(t_0) &= 0,0156 \cdot P_{(VI)} + 231,06; 0,4223 \cdot t_{min.(VII)} + 228,88; \\ S_{поч.(F.s.)}(t_0) &= -0,0128 \cdot P_{(VIII)} + 266,49. \end{aligned} \right\}
 \end{aligned}$$

Довгостроковий прогноз зміни настання фенологічних явищ. Для виявлення довгострокової перспективи ймовірної трансформації сезонної ритміки досліджуваних

видів дерев було обрано найгірший сценарій зміни клімату – RCP 8.5 (передбачає високий рівень емісій газів і кліматичних впливів, що виходять за межі поточних тенденцій)

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

та американську глобальну сполучену кліматичну модель GFDL-CM3 Лабораторії геофізичної гідродинаміки (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), визначену аналітичним шляхом як таку, чії прогнози кліматичні показники найбільш відрізняються від фактичних середніх багаторічних даних.

За даними співробітників Світового банку (Pillai et al., 2021) за сценарієм RCP 8.5 у майбутньому в Україні очікується значне скорочення площі, придатної для вирощування ялини, бука, сосни та дуба. Менше 3% заліснених площ країни будуть мати оптимальні умови для вирощування ялини звичайної, сосни звичайної та бука і лише 8% території матимуть

оптимальні умови для вирощування дуба англійського. До середини ХХІ століття лише Карпати залишатимуться придатною зоною для ялини норвезької. У Карпатах очікується зміщення межі лісу на більшу висоту.

Відповідно до згаданого прототипу у багатостроковій перспективі клімат території Північно-Східних Карпат у межах Карпатського національного природного парку буде характеризуватися помітним зменшенням кількості атмосферних опадів (особливо у літній період), а також підвищенням мінімальних та максимальних температурних показників (рис. 3).

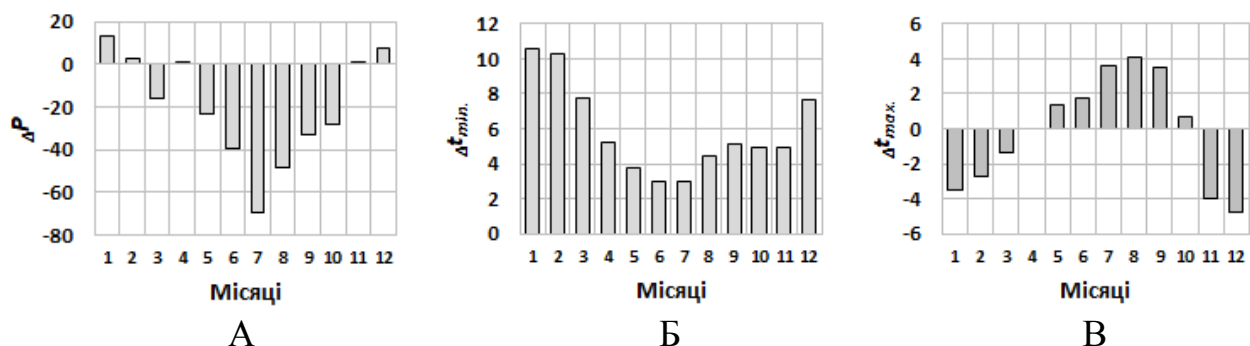


Рис. 3. Відхилення прогнозних метеорологічних показників 2095 р. від середніх багаторічних значень (А – кількість атмосферних опадів, ΔP , мм; Б – мінімальних температур повітря, $\Delta t_{min.}$, °C; В – максимальні температури повітря, $\Delta t_{max.}$, °C)

На основі отриманих регресійних зав'язків та даних кліматичної моделі GFDL-CM3 здійснено довгострокове прогнозування термінів настання (t_0) фенологічних явищ основних

лісотвірних порід Північно-Східних Карпат у межах Карпатського НПП та відхилення прогностичних даних (Δt) від середніх багаторічних значень (табл. 2).

2. Прогнозні значення настання фенологічних явищ у 2095 р.

Явище фенологічне \ Вид	Picea abies		Abies alba		Fagus sylvatica	
	t ₀	Δt	t ₀	Δt	t ₀	Δt
Початок набухання бруньок	19.04	-1	23.04	0	23.04	-2
Початок наростання пагонів	14.05	-1	04.05	0	16.05	-1
Початок цвітіння	08.05	-1	09.05	0	11.05	-1
Початок дозрівання плодів	22.08	0	03.09	+1	22.08	-1
Початок розсівання плодів	25.10	+3	14.10	-2	23.09	-1

Висновки і перспективи.

Попри твердження значної кількості науковців щодо залежності сезонної ритміки розвитку рослин від температурних показників за результатами проведених досліджень виявлено значну статистичну залежність окремих фенологічних явищ основних лісотвірних порід території Північно-Східних Карпат від атмосферних опадів, які, зокрема, випадають у березні і меншою мірою у червні.

Існування значних кореляційних зв'язків між максимальними температурами січня-лютого та фенологічними явищами (у виду *Picea abies* – датами початку наростання пагонів і початку цвітіння; у виду *Abies alba* – датами початку цвітіння і початку дозрівання плодів; у виду *Fagus sylvatica* – датами початку набухання бруньок та початку цвітіння) може свідчити про значний вплив ґрунтового живлення (що формується від талих вод у цей період) на сезонну ритміку рослин.

Це у перспективі відкриває можливість для проведення окремих наукових досліджень щодо виявлення

взаємозв'язків фенологічних явищ з гідролого-гідрогеологічними характеристиками регіону.

З кліматогенної точки зору в усіх досліджуваних видів дерев найбільш складним для моделювання виявилось явище початку цвітіння дерев, на формування якого впливають усі кліматичні показники – атмосферні опади, мінімальна та максимальна температури повітря.

Результати довгострокового прогнозування трансформації сезонної ритміки дерев за регресійними залежностями показали, що навіть за найгіршими сценаріями глобальних змін клімату дати настання усіх фенологічних явищ модельних видів (*Picea abies* (L.) Karst., *Abies alba* Mill. та *Fagus sylvatica* L.) будуть знаходитись у межах розмаху вибірки фактичних даних періоду 2000-2022 рр.

В останні роки динаміка глобальних процесів у атмосфері відбувається у тенденції, яка значно відхиляється від даних сучасних прогностичних моделей. За повідомленням Служби зі зміни клімату Copernicus (C3S)

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

Європейського Союзу 2023 рік визнано найтеплішим за всю історію спостережень. Тому подальше вивчення особливостей внутрішньорічної динаміки розвитку деревних рослин має ґрунтуватись на оновлених метеорологічних та фенологічних даних із застосуванням більшої кількості оцінюючих параметрів.

Окрім того, для виявлення цілісної картини ймовірного просторово-часового впливу метеорологічних та кліматичних умов на лісові екосистеми Карпат доцільним є використання матеріалів феноспостережень в межах інших висотних зон, зокрема, субальпійському та альпійському кліматичних поясах.

Вивчаючи кліматогенну обумовленість сезонної ритміки дерев слід зазначити, що отримані у результаті проведених досліджень статистичні залежності можна розглядати у зворотному контексті –

Список використаних джерел

1. Генсірук С. А. Ліси України. Львів: Наук. тов. ім. Шевченка, УкрДЛТУ. 2002. 495.
2. Голубець М.А. Геоботанічне районування Українських Карпат – основа раціонального природокористування. Праці НТШ. Екологічні проблеми Карпатського регіону. 2003. Т. 12. С. 283–293.
3. Дідух Я.П., Чорней І.І., Буджак В.В. та ін. Кліматогенні зміни рослинного світу Українських Карпат. Чернівці : Друк Арт, 2016. 280 с.
4. Карпатський національний природний парк: монографія / за ред. М.М. Приходька, О.І. Киселюка, А.І. Яворського. Івано-Франківськ:

для прогнозування погоди за фенологічними явищами. Наприклад, наявність помірного кореляційного зв'язку між показниками $R_{поч.(F.s.)}$ та $t_{max.(XII)}$ ($r = -0,42$) може свідчити про прийдешній теплий грудень на фоні більш раннього строку початку наростання пагонів бука лісового.

Таким чином, вивчення кліматогенних змін сезонної ритміки дерев у Карпатах є критично важливим для розуміння впливу змін клімату на природні екосистеми, розробки стратегій їхнього управління та охорони, а також відкриває нові можливості для розвитку української науки.

Автори висловлюють подяку інспекторам Яремчанського, Ямнянського, Підліснівського, Татарівського та Ворохтянського природоохоронних науково-дослідних відділень Карпатського НПП за плідну багаторічну роботу та допомогу у вивченні фенологічних явищ природи Карпат.

«Фоліант», 2009. 671 с.

5. Киселюк О.І., Кріпчук В.О., Мотрук М.В., Тимчук Я.Я. та ін. Фенологічні спостереження за природою (Посібник). Львів: ТОВ «Сплайн», 2006. 126 с.
6. Петрова Л., Третяк П. Природно-заповідний фонд Українських Карпат. Праці Наукового товариства ім. Шевченка. 2003. Т. XII. С. 246-256.
7. Програма літопису природи для заповідників та національних природних парків: метод. посібник / за заг. ред. Т.Л. Андрієнко. Київ : Академперіодика, 2002. 103 с.
8. Сімонов Д.О., Дідух Я.П. Клімато-хорологічний аналіз представників деревної флори України. Наукові записки НаУКМА :

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

Спеціальний випуск. 2001. Т. 19, ч. 2. С. 405-406.

9. Фекета І.Ю. Феноспостереження як складова частина моніторингу кліматичних змін. Науковий вісник Ужгородського університету : Серія: Географія. Землеустрій. Природокористування. 2013. Вип. 2. С. 26–31.

10. Шпарик Ю.С., Криницький Г.Т., Дебринюк Ю.М. Тенденції динаміки типів лісорослинних умов і породного складу деревостанів Українських Карпат у зв'язку зі змінами клімату. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2020. 20. С. 82-92.

11. Helms J.A. Effect of climate change on forest ecosystems. Climate Change on Wildfire Activity : Hearing Before the Committee on Energy and Natural Resources, United States Senate, One Hundred Tenth Congress, First Session, to Consider Scientific Assessments of the Impacts of Global Climate Change on Wildfire Activity in the United States (Washington, September 24, 2007). Washington, 2007. P. 20.

12. Lindner M., Fitzgerald J.B., Zimmermann N.E. etc. Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? Journal of Environmental Management. 2014. Vol. 146. P. 69–83. doi: 10.1016/j.jenvman.2014.07.030

13. Menzel A., Yuan Y., Matiu M., Sparks T., Scheifinger H., Gehrig R., Estrella N. Climate change fingerprints in recent European plant phenology. Global Change Biology. 2020. 26 (4). P. 2599-2612. doi: 10.1111/gcb.15000.

14. Monahan W.B., Rosemartin A., Gerst K.L., Fisichelli N.A., Ault T., Schwartz M.D., Gross J.E. and Weltzin J.F. Climate change is advancing spring onset across the U.S. national park system. Ecosphere. 2016. Vol. 7. Issue10. P. 3-17. doi: 10.1002/ecs2.1465.

15. Сайт генератора файлів погоди MarkSim™ DSSAT. URL: <https://gisweb.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/>

16. Pillai, Madhavi M.; Golub, Elena Strukova; Lokshin, Michael M.; Rakovych, Oksana; Ha, Thanh Phuong (2021). Ukraine - Building Climate Resilience in Agriculture and Forestry (English). Washington, D.C. : World Bank Group.

<http://documents.worldbank.org/curated/en/893671643276478711/Ukraine-Building-Climate-Resilience-in-Agriculture-and-Forestry>

References

1. Gensiruk, S.A. (2002). Forest of Ukraine. Lviv, Scientific society named after Shevchenko, Ukrainian state Forestry University.

2. Holubets, M.A. (2003). Geobotanical division of the Ukrainian Carpathians – a basis of rational natural use. *Proceedings of the Shevchenko Scientific Society. Ecological Issues of the Carpathian Region*. 12. 283-293.

3. Didukh, Ya.P., Chorney, I.I., Budzhak, V.V. et all. (2016). *Climatogenic changes of plant life of the Ukrainian Carpathians*. Chernivtsi: DrukArt.

4. Prykhodko, M.M., Kyselyuk, O.I. & Yavorskyi, A.I. (Eds.). (2009). Carpathian National Natural Park. Ivano-Frankivsk: "Foliant".

5. Kyselyuk, O.I., Kripchuk, V.O., Motruk, M.V., Tymchuk, Ya.Ya. etc. (2006). Phenological observations of nature (Handbook). Lviv: "Spline", 2006.

6. Petrova L., Tretyak P. (2003). Protected areas of the Ukrainian Carpathian mountains. *Proceedings of T. Shevchenko Scientific Society*. Vol. XII. 246-256.

7. Andrienko, T.L. (Ed.). (2002). The nature chronicle program for reserves and national nature parks: methodological guide. Kyiv : Akadempriodyka.

8. Simonov, D.O., Didukh, Ya.P. (2001) Climatic analysis of range areals of Ukrainian flora representatives. *NaUKMA Research Papers : Special issue*. 19(2). 405-406.

9. Feketa I.Y. (2013). Phenosupervisions as component part of monitoring of climatic changes. *Scientific Bulletin of Uzhgorod National University. Series: Geography. Land management. Nature management*. 2. 26-31.

10. Shparyk, Y., Krynytskyy H., Debryniuk Iu. (2020). Trends of dynamics in the site conditions types and species composition of the forest stands in the Ukrainian Carpathians caused by climate changes. *Proceedings of the Forestry Academy*

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

of Sciences of Ukraine. 20. 82-92.

10.1111/gcb.15000.

11. Helms J.A. (2007). Effect of climate change on forest ecosystems. *Climate Change on Wildfire Activity* : Hearing Before the Committee on Energy and Natural Resources, United States Senate, One Hundred Tenth Congress, First Session, to Consider Scientific Assessments of the Impacts of Global Climate Change on Wildfire Activity in the United States (p. 20). Washington : U.S. G.P.O.

12. Lindner M., Fitzgerald J.B., Zimmermann N.E. etc. (2014). Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management*. 146. 69–83. doi: 10.1016/j.jenvman.2014.07.030

13. Menzel, A., Yuan, Y., Matiu, M., Sparks, T., Scheffinger, H., Gehrig, R., Estrella, N. (2020). Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Global Change Biology*. 26 (4). 2599-2612. doi :

14. Monahan, W.B., Rosemartin, A., Gerst, K.L., Fisichelli, N.A., Ault, T., Schwartz, M.D., Gross, J.E. & Weltzin, J.F. (2016). Climate change is advancing spring onset across the U.S. national park system. *Ecosphere*. 7(10). 3-17. doi: 10.1002/ecs2.1465.

15. Website of weather file generator by MarkSim™ DSSAT URL: <https://gisweb.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/>

16. Pillai, Madhavi M.; Golub, Elena Strukova; Lokshin, Michael M.; Rakovych, Oksana; Ha, Thanh Phuong. (2021). Ukraine - Building Climate Resilience in Agriculture and Forestry (English). Washington, D.C. : World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/893671643276478711/Ukraine-Building-Climate-Resilience-in-Agriculture-and-Forestry>

CLIMATOGENIC INFLUENCE AND PREDICTION OF SEASONAL RHYTHM CHANGES IN THE MAIN TREE SPECIES OF THE NORTHEASTERN CARPATHIANS

I. V. Belmega, V. A. Khrutba, M. V. Motruk, R. L. Kravchynskyi

Abstract. *The article is devoted to the study of the phenological phenomena of the main forest-forming species (European spruce - Picea abies, white fir - Abies alba and forest beech - Fagus sylvatica) within the temperate climate zone (600-800 m a.s.l.) on the territory of the Carpathian National Nature Park for the period 2000-2022.*

The study employed a comprehensive set of field, instrumental, laboratory, analytical, and mathematical-statistical research methods, along with certain approaches applied in phenology and meteorology.

According to the results of the statistical analysis, a significant influence of precipitation in March on the beginning of bud swelling (Picea abies and Fagus sylvatica species), the beginning of flowering trees (Picea abies, Abies alba species) and the onset of fruit ripening (Picea abies, Fagus sylvatica species) was revealed. and the beginning of seed dispersal (Picea abies, Abies alba species).

It should be noted that the minimum air temperatures in July significantly affect phenological events that begin and continue at this time and later, in particular, the beginning of fruit ripening (Abies alba, Fagus sylvatica species) and the onset of seeds dispersal (in all species).

Strong and moderate correlations between January-February maximum temperatures and various phenological events (e.g., in Picea abies, dates of shoot growth and flowering initiation; in Abies alba, dates of flowering initiation and seed ripening initiation; in Fagus sylvatica, dates of bud swelling and flowering initiation)

Бельмега І. В., Хрутьба В. О., Мотрук М. В., Кравчинський Р. Л.

suggest a notable impact of underground water, originating from meltwater during this period, on plant seasonal rhythms.

The most difficult for modeling was the phenomenon of the beginning of flowering of trees, the formation of which is influenced by all involved climate predictors - precipitation, minimum and maximum air temperatures.

Based on the results of the research, the initial long-term forecasting of the response of local forest crops to probable climate changes was carried out; so, it was shown that even under the worst-case scenario (RCP 8.5), the dates of occurrence of all phenological phenomena of model tree species will be within the scope of the sample of actual data for the observation period of 2000-2022.

Keywords: *North-Eastern Carpathians, Carpathian National Natural Park, forest ecosystems, climate changes, seasonal rhythm of plants, phenology*