



Forestry Academy of Sciences
of Ukraine

Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411915>
Article received 2018.09.28
Article accepted 2019.03.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yuriy Shparyk
yuriy.shparyk@gmail.com

Hrushevskogo str., 31, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

УДК 630*18 : 630*187

Екологічні наслідки всихання ялиників в основних типах лісу Українських Карпат

Ю. С. Шпарик¹

Стаціонарні дослідження динаміки всихання ялинових деревостанів Українських Карпат здійснено у 2010-2014 роках. Аналіз результатів досліджень дав змогу оцінити екологічні наслідки їх всихання за такими типами лісу: вологий кедрово-смерековий субір, волога чиста сусмеречина, волога буково-ялицева сусмеречина, волога буково-смерекова суяличина та волога буково-смерекова яличина. Екологічну ефективності ялиників регіону оцінено в контексті вирішення нагальних екологічних проблем: збереження біорізноманіття, запобігання змінам клімату, покращення комфортності лісів для рекреаційних цілей.

Встановлено деякі позитивні екологічні наслідки всихання ялиників Українських Карпат. Так, динаміка фіторізноманіття під час всихання ялиників здебільшого (у 91% випадків) спрямована на збільшення кількості видів рослин. За типами лісу це збільшення становить в межах 57-80%. Зміни у фіторізноманітті залежать від інтенсивності всихання ялиників. Запас депонованого вуглецю в ялиниках, що всихають, переважно (у 55% випадків) виявляє тенденцію до збільшення. За типами лісу зміни запасів вуглецю змінюються від -11 до 3% залежно від інтенсивності проведених санітарних рубок. Негативними наслідками всихання ялиників регіону є погіршення їх киснепродуційних функцій на переважній кількості (у 91% випадків) дослідних об'єктів. За типами лісу зменшення об'ємів кисню, які продукують ялиники, становить від 4 до 10%. Величина цього зменшення залежить від участі у складі лісостанів деревних рослин, які продукують кисень, обсяги якого змінюються внаслідок їхнього всихання або зрубання.

Екологічні наслідки всихання ялиників оцінено також за групами віку насаджень і за стадіями всихання.

Ключові слова: ялина європейська; типи деревостанів; групи віку; стадії всихання; фіторізноманіття; депонування вуглецю; продукування кисню.

Вступ. Постійні антропогенні викиди парникових газів та відсутність міжнародного консенсусу щодо пом'якшення наслідків змін клімату свідчать про важливість запобігання цим змінам. Заходи з адаптації лісового господарства до змін клімату мають значну тривалість, але також і найвищу ефективність порівняно з іншими галузями національного господарства. Відомо, що в процесі фотосинтезу і транспірації ліси поглинають велику кількість сонячної енергії, що істотно впливає на формування мікроклімату. У ширшому розумін-

ні ліси протидіють регіональним, континентальним і глобальним змінам клімату (Kirschbaum, 2004, Heerwaarden & Teuling, 2014, Schlesinger & Jasechko, 2014, Noormets et al., 2015). Тому підтримання лісового середовища має вирішальне значення для зменшення уразливості лісових екосистем і покращення виконання ними екологічних функцій.

Масове всихання ялиників Карпат за останнє десятиріччя (Mauer & Palátová, 2010, Debryniuk, 2011, 2014, Janda et al., 2014, FAO, 2016, Shparyk, 2017) має різні за величиною та за напрямом

¹ Шпарик Юрій Степанович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, головний науковий співробітник. Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва імені П.С. Пастернака, вул. Грушевського, 31, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. Тел.: 0342-53-02-36, +38-050-188-02-61. E-mail: yuriy.shparyk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8047-6356>

екологічні наслідки: зміна біорізноманіття лісів (Humphrey et al., 2003, Feltona et al., 2010, Mönkkönen et al., 2011); зменшення обсягів депонованого вуглецю (Dunn et al., 2006, Grünwald & Bernhofer, 2007, Kurz et al., 2008, Diocion et al., 2009, Šebeň et al., 2015); погіршення киснепродукційної функції лісів (Bergha et al., 1998, Langendörfer et al., 2002, Dunn et al., 2006, Fenton et al., 2009).

За останнє десятиліття стан деревостанів ялини європейської в Українських Карпатах різко погіршився в більшості типів лісу. За роками площа осередків всихання становила від 20 до 50 тис. га, а запаси сухоостою – від 3 до 12 млн м³. Масове всихання ялиників відбувається в різних типах лісу і категоріях лісів, незалежно від способів господарювання. Встановлено також наявність успішного природного поновлення під наметом більшості всихаючих ялиників, хоча в ньому і не завжди переважає підріст *Picea abies* [L.] Karst., частіше – *Fagus sylvatica* L. та *Abies alba* Mill. (Mauer & Palátová, 2010, Shparyk et al., 2013, 2014, Shparyk, 2017), а також піонерні види дерев, насамперед – *Sorbus aucuparia* L., що збагачує фіторізноманіття та підвищує стійкість фітоценозу (Šebeň et al., 2015).

За відсутності природного поновлення на місці загиблих ялиників створюють лісові культури переважно за участю іншої головної породи. Тобто у лісівничому аспекті наслідком всихання ялиників регіону є масова зміна головної породи – ялини на бук або ялицю, але не втрата вкритих лісовою рослинністю ділянок. Однак екологічні наслідки розладнання лісових екосистем ялиників регіону оцінено на теоретичному рівні без достатнього емпіричного обґрунтування (Shparyk et al., 2013, 2014, 2017). У цій роботі зроблено спробу розрахувати величину та напрями цих змін за даними повторних обстежень стаціонарних дослідних об'єктів.

Об'єкти та методика досліджень. Об'єкт дослідження – ялинові ліси, які всихають, в основних типах лісу Українських Карпат. Предмет дослідження – зміни в біорізноманітті, запасах депонованого вуглецю та обсягах продукування кисню в ялиниках регіону, які всихають. Мета дослідження – оцінити величину та напрями змін виконання екологічних функцій ялиників, що всихають в умовах вологого кедрово-смерекового субору, вологої чистої сушмеречини, вологої буково-ялицевої сушмеречини, вологої буково-смерекової суяличини та вологої буково-смерекової яличини. У загальній площі ялиників регіону частка цих типів лісу становить понад 70%. Розрахунок екологічних наслідків всихання ялиників здійснено за результатами дослідження на 21-му постійному дослідному об'єкті (ПДО), які було закладено в 2010 р. і повторно обстежено в 2013-2014 роках (рис. 1).

Об'єкти досліджень підібрані за пропозиціями практиків-лісівників на найхарактерніших для їхніх підприємств лісових ділянках. Дослідні всихаючі ялиники помітно відрізняються за типами лісу, лісівничо-таксаційними показниками, віком, часткою сухоостою у загальному запасі деревини. У

породному складі всіх ПДО домінує ялина (табл. 1). Лісівничий аналіз деревостанів на ПДО наведено у попередніх публікаціях (Shparyk, 2014, Shparyk, 2017). Усі закладені дослідні об'єкти є типовими для конкретних підприємств.

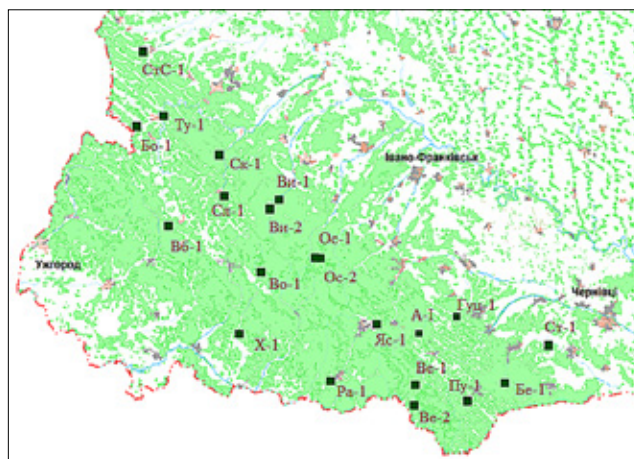


Рис. 1. Розташування постійних дослідних об'єктів (ПДО) у регіоні Українських Карпат

Розрахунок екологічних наслідків всихання ялиників Українських Карпат здійснено на прикладі найважливіших екологічних функцій лісів: збереження фіторізноманіття за кількістю видів рослин; запобігання змінам клімату за запасами депонованого в лісових екосистемах вуглецю; підвищення комфортності лісів для рекреації за об'ємом кисню, який виділяється лісом.

Дослідження проводили методом детального аналізу кожного дерева на ПДО за такими показниками: деревний вид, санітарний стан, діаметр на висоті 1,3 м у двох напрямках з точністю вимірювання до 1 мм, клас IUFRO за ярусом, життєвість, положення, функція, товарність і довжина крони, стадії розкладання мертвої деревини (сухоостою). Для розрахунку запасів деревини встановлювали висоту модельних дерев, висоту початку крони, діаметр стовбура на висоті 7 м. Мертву лежачу деревину оцінювали за деревним видом, діаметром на середині стовбура (або відрізка стовбура), довжиною стовбура та стадією розкладання. Підріст досліджували на кругових площадках площею 20 м² кожна з розрахунку не менше 10% площі ПДО за породами та висотними групами (10-30, 31-50, 51-70, 71-90, 91-130, 131 см і вищий). Опис трав'яного вкриття здійснювали на цих же кругових площадках з визначенням частки видів за проєктивним вкриттям. При цьому кількість видів рослин підраховували за ярусами для розуміння їхньої кількісної динаміки, але один і той самий вид у різних ярусах рахували як один вид загалом для коректного оцінювання фіторізноманіття. Навколо кожного ПДО ще відбирали висічки (12-24 шт.) для проведення дендрохронологічного аналізу з таких за показниками дерев, які представлені на ПДО (Shparyk, 2016).

Депонований в ялиниках вуглець оцінювали конверсійно-об'ємним методом, який ґрунтується

на конверсійних коефіцієнтах, що представляють собою відношення фітомаси окремих фракцій до запасу деревини на ПДО. Конверсійні коефіцієнти визначено для груп віку і бонітетів окремих порід: ялини і сосни – 0,49, ялиці – 0,48, листяних видів – 0,47, чагарників і підросту всіх порід – 0,48, трав – 0,50. Враховували також вологість живої деревини. У ялини і сосни вона становить 70, у ялиці і берези – 80, у бука і дуба – 65, у кленів – 50, у чагарників – 60 і у трав – 90% (Lakyda, 1998, Vajdanych et al., 2000).

Методика розрахунку об'ємів кисню, який виділяє ліс у процесі фотосинтезу, базується на відомому балансі речовин та енергії в процесі фотосинтезу. Маса виділеного лісом кисню і поглиненого вуглекислого газу залежить від початкового і кінцевого станів дерев. У фізичній хімії це закон

Гесса: «Енергетичний ефект хімічних перетворень залежить тільки від початкового і кінцевого станів системи, але не залежить від шляху, по якому реакції протікають». Це означає, що маса кисню, яку виділяє дерево, репрезентує його щорічний приріст фітомаси, а загальна маса виділеного кисню за весь період росту дерев визначається запасом органічної маси лісової екосистеми. У роботі використано такі коефіцієнти для переведення приросту фітомаси в об'єм кисню, виділеного різними породами (з розмірністю – кілограм виділеного кисню на кілограм приросту), які становлять для сосни – 1,398, ялини – 1,413, берези – 1,393, бука – 1,428 і дуба – 1,426. Ці коефіцієнти були інтерпольовані для інших порід на всіх ПДО залежно від щільності їхньої деревини (Belov, 1983, Lakyda & Blyshchuk, 2014).

Таблиця 1

Основні лісівничо-таксаційні показники деревостанів на ПДО

ПДО	Індекс типу лісу	Склад деревостану	К-ть ярусів, шт.	Вік, років	Повнота	Бонітет	Запас стовбурової деревини	
							на час дослідження, м ³ /га	в т.ч. сухостою, %
Ос-2	V ₃ -кСм	9Ял1Ске + Яц	3	121	0,50	II	528,3	30,1
Х-1	C ₃ -Бк	9Ял1Сз	1	53	0,40	I ^b	272,8	0,0
Ве-2	C ₃ -См	10Ял	3	131	0,88	II	668,7	8,5
Гуц-1	C ₃ -См	10Ял	2	153	0,92	II	685,5	7,6
Ра-1	C ₃ -См	10Ял + Бк	3	202	0,47	II	454,0	23,8
А-1	C ₃ -См	10Ял + Гор	3	220	0,94	II	700,3	1,9
Ос-1	C ₃ -бкСм	10Ял + Ске	3	131	0,65	III	380,2	4,1
Ви-2	C ₃ -бк-яцСм	10Ял + Яв	2	78	0,79	I	760,3	6,9
Яс-1	C ₃ -бк-яцСм	10Ял	2	101	0,98	I	861,5	10,7
Ви-1	C ₃ -бк-яцСм	5Ял4Яц1Яв + Б	3	115	1,10	II	791,6	18,6
Ве-1	C ₃ -бк-яцСм	6Ял2Яц2Бк + Яв	3	165	0,90	II	778,6	37,1
СтС-1	C ₃ -бкЯц	6Ял2Яц1Бк1Сз + Яв, Яс, Гор	3	73	1,02	II	533,0	6,7
Ту-1	C ₃ -бк-смЯц	10Ял	2	43	0,44	I	166,1	2,0
Бе-1	C ₃ -бк-смЯц	10Ял	3	51	0,74	I ^a	469,5	1,4
Пу-1	C ₃ -бк-смЯц	10Ял + Бк, Яц	3	83	0,69	I	597,8	2,1
Во-1	D ₃ -яцБк	9Ял1Яц + Яв,Вз, Бк	2	67	0,85	I ^b	763,0	11,1
Бо-2	D ₃ -бк-яцСм	5Ял5Яц + Ос	1	28	1,18	II	187,7	2,2
Ст-1	D ₃ -бк-смЯц	10Ял + Бк, Яц, Б, Г, Дз, Лп, Яв	3	46	0,84	I	394,9	16,6
Вб-1	D ₃ -бк-смЯц	9Ял1Яц + Яв,Бк	3	55	0,69	I ^a	510,0	14,6
Сл-1	D ₃ -бк-смЯц	10Ял + Бк, Яв	3	61	0,90	I	530,4	4,7
Ск-1	D ₃ -бк-смЯц	9Ял1Бк	3	114	0,95	I	726,0	11,6

Примітка. У номері ПДО зашифровано назву підприємства

Результати дослідження. Попередні дослідження фіторізноманіття лісів Українських Карпат не дали змоги встановити достовірної різниці в динаміці кількості видів рослин у різних категоріях лісів, за умов належного ведення лісового госпо-

дарства. Так, на двох із чотирьох дослідних ділянок у природоохоронних лісах за період 1999-2005 рр. фіторізноманіття збільшилось, а на двох – зменшилось. Суттєві зміни (на рівні 18%) відбулися лише на одному об'єкті – в бік зменшення видового різ-

номаніття рослин. За типами лісу найстабільнішою була ситуація у вологій буково-ялицевій сушмеречині, незважаючи на відмінності у типах деревостанів та методах господарювання. Встановлено, що визначальним чинником фіторізноманіття є морфологічні показники деревостанів (повнота, зімкненість крон, ярусність), а не типи лісу чи категорії лісів (Shparyk, 2014, 2016).

Аналіз видового різноманіття всихаючих ялиників свідчить про значну його мінливість у різних типах лісу. Так, середня кількість видів рослин змінюється від 8 (волога буково-смерекова суяличина) до 18 (волога буково-смерекова яличина). Варіювання цього показника змінюється від 12 (волога буково-смерекова суяличина) до 37 % (волога чиста сушмеречина) (рис. 2).

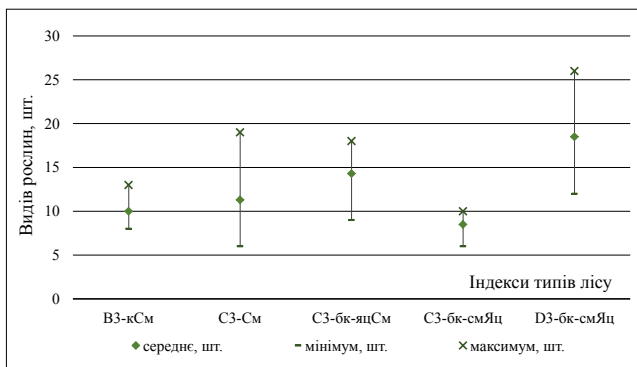


Рис. 2. Фіторізноманіття ялиників Українських Карпат

Дослідження динаміки кількості видів у ялиниках упродовж 2010-2014 рр. показало, що в межах одного типу лісу варіабельність становила 8-150%, а в межах різних типів лісу – 57-80 %.

Результати статистичного аналізу свідчать про відсутність чітких залежностей між змінами у фіторізноманітті і таксаційними показниками ялиників. Найбільші з них досягають помірною зворотного кореляційного зв'язку між динамікою кількості видів у деревостанах та їхнім віком ($r = -0,302$) та слабкого – з часткою ялини в їхньому породному складі ($r = -0,278$). На 91% дослідних ділянок всихаючих ялинових деревостанів встановлено збільшення кількості видів (табл. 2). Простежується загальна тенденція до зменшення зміни фіторізноманіття в середньовікових (23,5%) всихаючих ялиниках і збільшення у пристиглих (85,0%) та зменшення у стиглих і перестійних – до 42-47%. Це пояснюють максимальним зменшенням повноти деревостанів саме у пристиглих ялиниках. Аналогічні закономірності у формуванні фіторізноманіття всихаючих ялиників встановлено в межах типів лісу, за винятком вологій буково-смерекової яличини, де зменшення кількості видів зафіксовано вже у пристиглих деревостанах.

Також встановлено чіткі закономірності зміни фіторізноманіття у всихаючих ялиниках, які пов'язані зі стадіями всихання. Найменше його зниження (на 33%) встановлено на стадії стабілізації процесів всихання, а найбільше (на 62%) – на по-

чатковій стадії (див. табл. 2). Таку закономірність можна пояснити максимальним зменшенням повноти деревостанів ялини саме на стадії початкового всихання. Аналогічні закономірності зміни у фіторізноманітті на різних стадіях всихання ялиників встановлено і в межах типів лісу. Проте в умовах вологій буково-ялицевій сушмеречини існує практично зворотна тенденція, де зміни у фіторізноманітті є мінімальними на стадії прогресуючого всихання, а максимальними – на стадії стабілізації всихання. Такий стан є наслідком завершення переформування похідних ялиників із низьким фіторізноманіттям на корінні мішані ялиники з високим фіторізноманіттям саме на стадії стабілізації.

Вплив всихання ялини проявляється також на формуванні запасу депонованого вуглецю в дослідних лісостанах. За середнього запасу вуглецю 85,5 т/га, коливання цього показника у дослідних всихаючих ялиниках становить від 62,3 (волога буково-смерекова суяличина) до 123,7 т/га (волога буково-ялицева сушмеречина) за мінливості показника 36,6% (рис. 3). Визначальним показником для обсягів депоновання вуглецю лісостанами є запас деревини, де його частка в середньому сягає 83%, зокрема на перший ярус припадає 71, на другий – 11 і на третій – 1%. Частка сухоостою в запасі депонованого вуглецю в середньому становить 10,6, мертвої лежачої деревини – 5,5, трави – 0,5, підросу – 0,3 і підліску – 0,1%.

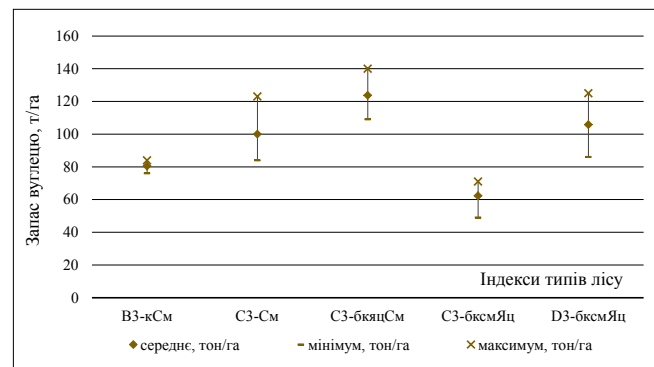


Рис. 3. Запас депонованого вуглецю в ялиниках Українських Карпат

Запас вуглецю в дослідних ялиниках значною мірою корелює з віком деревостанів і меншою мірою визначається типом лісорослинних умов та головною породою. Коефіцієнт кореляції між віком всихаючих ялиників і запасом вуглецю виявився прямим і помірним ($r = 0,38$).

Динаміка запасу депонованого вуглецю у всихаючих ялиниках має тенденцію до збільшення з віком деревостанів, що зумовлено збільшенням обсягів мертвої деревини та кількості підросу. У різних груп ці зміни змінюються від -5,4 до 3,0%, а їх тенденція полягає у збільшенні від мінімальних значень запасу вуглецю у середньовікових, до максимальних – у пристигаючих ялиниках та подальшому поступовому його зменшенні у стиглих і перестиглих лісостанах (табл. 3).

Таблиця 2

Зміни фіторізноманіття всихаючих ялиників різних типів лісу, груп віку і стадій всихання, %

Показник	Індекс типу лісу					Середнє
	C ₃ -бк-смЯц	D ₃ -бк-смЯц	B ₃ -кСм	C ₃ -бк-яцСм	C ₃ -См	
Група віку						
Середньовікові	–	23,5	–	–	–	23,5
Пристигли	150,0	20,0	–	–	–	85,0
Стигли	54,5	–	–	58,3	26,7	46,5
Перестиглі	–	–	80,0	56,7	8,3	42,0
Стадія всихання						
Початкова	102,3	20,0	–	58,3	25,0	61,6
Прогресуюча	–	23,5	80,0	33,3	–	45,6
Стабілізації	–	–	–	80,0	9,2	32,8
Середнє:	102,3	21,8	80,0	57,2	14,4	49,4

Таблиця 3

Зміна запасу депонованого вуглецю у всихаючих ялиниках, %

Показник	Індекс типу лісу					Середнє
	C ₃ -бк-смЯц	D ₃ -бк-смЯц	B ₃ -кСм	C ₃ -бк-яцСм	C ₃ -См	
Група віку						
Середньовікові	–	0,50	–	–	–	0,50
Пристигли	4,28	1,75	–	–	–	3,02
Стигли	1,23	–	–	-5,18	-0,66	-1,54
Перестиглі	–	–	1,27	-13,81	-0,23	-5,36
Стадія всихання						
Початкова	2,75	1,75	-	-5,18	-1,01	0,21
Прогресуюча	–	0,50	1,27	-20,36	–	-6,19
Стабілізації	–	–	–	-7,25	-0,06	-2,45
Середнє:	2,75	1,13	1,27	-10,93	-0,38	-2,26

У середньовікових і пристиглих ялиниках втрачають запасу деревини від всихання та гниття перебиваються поточним її приростом і в пристиглих ялиниках цей тренд досягає максимуму через обмеження рубок догляду. У стиглих і перестиглих ялиниках приріст деревини зменшується, а інтенсивність всихання дерев зростає, а тому збільшення запасів вуглецю не відбувається. Аналогічні тенденції зміни відносних обсягів депонованого вуглецю у всихаючих ялиниках проявляються в різних типах лісу, за винятком вологої чистої сушмеречини та вологого кедрово-смерекового субору.

Зміни запасу депонованого вуглецю в ялиниках різних стадій всихання становлять від 0,2 до -6,2%. На початковій стадії всихання встановлено збільшення запасу депонованого вуглецю, а на стадіях прогресуючого всихання і стабілізації всихання зареєстровано його втрати. Це зумовлено найбільшими втратами запасу ялини саме на стадії прогресуючого всихання, коли її деревина вилучається з деревостанів у процесі санітарних рубок. Значні втрати деревини внаслідок всихання ялини тривають також і на стадії стабілізації всихання та після її завершення.

Аналіз киснепродуктивності лісових екосистем на ПДО свідчить про значну мінливість сумарних обсягів продукування кисню ялиниками за весь період росту (рис. 4).

За середньої киснепродуктивності на рівні 340,2 т/га, її значення у всихаючих ялиниках становлять від 239 (вологий кедрово-смерековий субір) до 425 т/га (волога буково-ялицева сушмеречина) (див. рис. 4). Мінливість кисневої продуктивності становила 35,6%. Визначальним для обсягів продукування кисню ялиниками за весь період росту є запас деревини, де його частка в середньому сягає 99%, зокрема на перший ярус припадає 84, на другий – 14 і на третій – лише 1%. При цьому, внесок підросту у киснепродуктивність у середньому становить 0,6, трав – 0,4 і підліску – 0,3%. Обсяг продукування кисню в ялиниках слабо залежить від типу лісу.

Встановлено слабкий вплив на кисневу продуктивність основних лісівничо-таксаційних показників деревостанів (віку, типу лісу, типотвірної породи). Для ялинових типів лісу обсяги продукування кисню становили від 120,6 до 491,5, а для ялицевих – від 110,6 до 531,7 т/га.

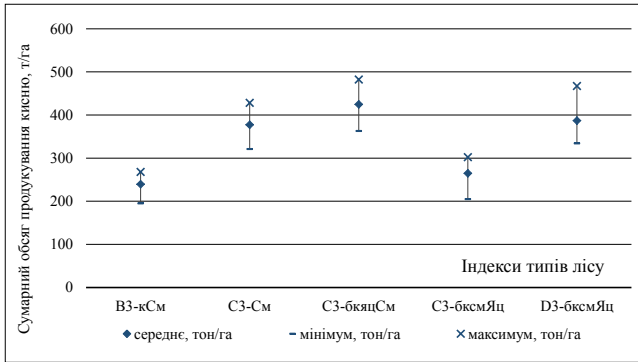


Рис. 4. Сумарний обсяг продукування кисню в ялинниках Українських Карпат

Аналіз змін продукування кисню всихаючими ялинниками в період між інвентаризаціями підтвердив значні їхні коливання. Так, у 91% ялинових деревостанів встановлено зниження кисневої продуктивності до 24,6% і тільки у 9% – зростання до 7,5% (табл. 4). Такі зміни зумовлені зменшенням унаслідок всихання кількості живих дерев ялини, які в процесі життєдіяльності виділяють кисень. Зі збільшенням віку ялинових деревостанів втрати обсягів продукування кисню зростають. З'ясовано, що в середньовікових і пристиглих деревостанах зниження виділення обсягів кисню становить 6,2-7,0%, а в стиглих і перестиглих – 8,1-9,2% (табл. 4). Це зумовлено тим, що в середньовікових і пристиглих ялинниках втрати запасу деревини від всихання повністю переक्रиваються поточним приростом

деревини. Зі збільшенням віку прирости деревини зменшуються, а інтенсивність всихання ялини зростає, а тому збільшення киснепродуктивності у стиглих ялинниках не відбувається.

Зменшення обсягів продукування кисню всихаючими ялинниками на різних стадіях всихання становить від 0,08 до 11,92%. На початковій стадії всихання встановлено зменшення об'єму продукування кисню на рівні 10%, а на стадії прогресуючого всихання – на 12%. Водночас на стадії стабілізації всихання ці втрати стають мінімальними (див. табл. 4). Це пов'язано з максимальними втратами органічної маси деревостанів саме на стадіях початкового та прогресуючого всихання. На стадії стабілізації всихання деревостани вже розладнані і до продукування кисню долучається підріст тих деревних видів, які виростили на місцях сухоюстою ялини. У межах типів лісу найменші втрати кисню (4,19%) встановлено в умовах вологого кедрово-смерекового субору. В умовах вологої буково-ялищевої сушмеречини, вологої чистої сушмеречини і вологої буково-смерекової яличини вони зросли до 8,04-9,64%. У переважній кількості типів лісу найбільші втрати кисню визначені на початковій стадії всихання деревостанів і тільки в умовах вологої буково-ялищевої сушмеречини – на прогресуючій стадії. На нашу думку, така ситуація є наслідком більш інтенсивної втрати органічної маси у процесі всихання ялини, тоді як інші лісотвірні породи (бук і ялиця) мають значно вищу біотичну стійкість у цьому типі лісу.

Таблиця 4

Зміни об'ємів продукування кисню всихаючими ялинниками, %

Показник	Індекс типу лісу, %					Середнє
	С ₃ -бк-смЯц	D ₃ -бк-смЯц	В ₃ -кСм	С ₃ -бк-яцСм	С ₃ -См	
Група віку деревостанів						
Середньовіковий	-	-6,98	-	-	-	-6,98
Пристиглий	-2,42	-9,99	-	-	-	-6,21
Стиглий	-10,90	-	-	-11,85	-4,70	-9,15
Перестиглий	-	-	-4,19	-8,53	-9,71	-8,13
Стадія всихання						
Початкова	-6,66	-9,99	-	-11,85	-16,34	-10,30
Прогресуюча	-	-6,98	-4,19	-24,59	-	-11,92
Стабілізації	-	-	-	7,53	-3,89	-0,08
Середнє:	-6,66	-8,49	-4,19	-9,64	-8,04	-7,96

Висновки. Динаміка фіторізноманіття у переважній кількості (91%) всихаючих ялинників спрямована на збільшення кількості видів рослин у лісостанах і є позитивною тенденцією. У межах типів лісу збільшення фіторізноманіття ялинників становить переважно від 57 до 80%. За групами віку найменші зміни фіторізноманіття виявлено у середньовікових деревостанах, а найбільші (80%) – у пристиглих. Встановлено достовір-

ну тенденцію до зменшення інтенсивності зміни кількості видів від стадії початкового всихання до стадії стабілізації всихання. Домінуючим чинником для детермінації динаміки фіторізноманіття є повнота деревостанів, яку визначає інтенсивність процесів всихання.

Встановлено зростання запасів депонованого вуглецю в 55% всихаючих ялинників, яке детермінується кількістю та інтенсивністю санітарних

рубок. Ця тенденція зумовлена зростанням обсягів ще не розкладеної мертвої деревини та кількістю підросту під наметом деревостанів. Найбільші зміни у запасі вуглецю встановлено в умовах вологої буково-смерекової суяличини і вологої буково-ялицевої сусмеречини. За групами віку зміни запасу вуглецю мають тренд до збільшення від мінімуму у середньовікових до максимуму – у пристиглих ялинниках. За стадіями всихання динаміка депоновання вуглецю характеризується максимумом на початковій стадії і мінімумом на стадії прогресуючого всихання та середніми значеннями – на стадії стабілізації всихання.

У 91% ялинників встановлено зниження інтенсивності виділення кисню внаслідок зменшення кількості дерев, які продукують кисень. Встановлено збільшення втрат обсягів продукування кисню від середньовікових та пристиглих до стиглих ялинників. Зменшення обсягів продукування кисню ялинниками за стадіями всихання становлять від 0,08 до -11,92%. Найбільшими вони виявились на початковій стадії всихання (10%) і стадії прогресуючого всихання (12%).

Екологічні наслідки всихання ялинників Українських Карпат можуть бути як позитивними (збільшення фіторізноманіття, поступове формування стійких мішаних деревостанів на місці похідних, за відсутності санітарних рубок – збільшення запасів депонованого вуглецю), так і негативними (зменшення запасів депонованого вуглецю у разі здійснення санітарних рубок, зменшення обсягів продукування кисню).

Бібліографічні посилання

- Belov, S. V. (1983). *Forestry*. Moscow: Forest industry (in Russian).
- Bergha, J., McMurtrieb, R. E., & Linder, S. (1998). Climatic factors controlling the productivity of Norway spruce: A model-based analysis. *Forest Ecology and Management*, 110 (1-3), 127-139. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00280-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00280-1)
- Debryniuk, Iu. M. (2011). Dieback of the spruce forests: causes and consequences. *Scientific bulletin of the Ukrainian State Forestry University*, 21.16, 32-38 (in Ukrainian).
- Debryniuk, Iu. M. (2014). Formative variety and Life condition of *Picea abies* [L.] Karst. in the Western Forest-steppe of Ukraine. *Journal of Agrobiological and Ecology*, 4 (1), 97-102 (in Ukrainian).
- Diochon, A., Kellman, L., & Beltrami H. (2009). Looking deeper: An investigation of soil carbon losses following harvesting from a managed northeastern red spruce (*Picea rubens* Sarg.) forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 257 (2), 413-420. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.015>
- Dunn, A. L., Barford, C. C., Wofsy, S. C., Goulden, M. L., & Daube, B. C. (2006). A long-term record of carbon exchange in a boreal black spruce forest: means, responses to interannual variability, and decadal trends. *Global Change Biology*, 13 (3), 577-590. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.2006.01221.x/full>
- FAO (2016). *Global forest resources assessment 2015. How are the world's forests changing? Second edition*. Rome, FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i4793e.pdf>.
- Feltona, A., Lindbladha, M., Bruneta, J., & Fritz, Ö. (2010). Replacing coniferous monocultures with mixed-species production stands: An assessment of the potential benefits for forest biodiversity in northern Europe. *Forest Ecology and Management*, 260 (6), 939-947. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.011>
- Fenton, N. J., Simard, M., & Bergeron, Y. (2009). Emulating natural disturbances: the role of silviculture in creating even-aged and complex structures in the black spruce boreal forest of eastern North America. *Journal of Forest Research*, 14 (5), 258-267. <https://doi.org/10.1007/s10310-009-0134-8>
- Grünwald, T., & Bernhofer, C. (2007). A decade of carbon, water and energy flux measurements of an old spruce forest at the Anchor Station Tharandt. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0889.2007.00259.x/full>
- Heerwaarden, C. C., & Teuling, A. J. (2014). Disentangling the response of forest and grassland energy exchange to heatwaves under idealized land-atmosphere coupling. *Biogeosciences*, 11, 6159-6171. <https://doi.org/10.5194/bg-11-6159-2014>
- Humphrey, J., Ferris, R., Jukes, M., & Peace A. (2003). Biodiversity in Planted Forests. Retrieved from <https://www.forestry.gov.uk/pdf/frbiodiversityplantedforests0001.pdf>
- Janda, P., Svoboda, M., Bače, R., Čada, V., Lynn, J., & Peck, E. (2014). Three hundred years of spatio-temporal development in a primary mountain Norway spruce stand in the Bohemian Forest, central Europe. *Forest Ecology and Management*, 330, 304-311. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.06.041>
- Kirschbaum, M. U. F. (2004). Direct and indirect climate change effects on photosynthesis and transpiration. *Plant Biology*, 6, 242-253. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820883>
- Kurz, W. A., Dymond, C. C., Stinson, G., Rampley, G. J., Neilson, E. T., Carroll, A. L., ... Safranyik, L. (2008). Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, 452, 987-990. <https://doi.org/10.1038/nature06777>
- Lakyda, P. I. (1998). Methodological aspects of the annual carbon stock estimation in the forest stands. *Scientific bulletin of the NAU:Forestry*, 8, 221-227 (in Ukrainian).
- Lakyda, P. I., & Blyshchik, V. I. (2014). Forecast of carbon stock and oxygen production of alder forest in Ukrainian Polissya. *Bioresources and nature management*, 6 (1-2), 91-98 (in Ukrainian).
- Langendörfer, U., Cuntz, M., Ciais, P., Peylin, P., Bariac, T., Milyukova, I., ... Naegler, T. (2002). Modelling of biospheric CO₂ gross fluxes via

oxygen isotopes in a spruce forest canopy: a ^{222}Rn calibrated box model approach. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1034/j.1600-0889.2002.01345.x/full>

- Mauer, O., & Palátová, E. (2010). Decline of Norway spruce in the Krkonoše Mts. *Journal of Forest Science*, 56, 361-372. <https://doi.org/10.17221/95/2009-JFS>
- Mönkkönen, M., Reunanen, P., Kotiaho, J. S., Juutinen, A., Tikkanen, O.-P., & Kouki, J. (2011). Cost-effective strategies to conserve boreal forest biodiversity and long-term landscape-level maintenance of habitats. *European Journal of Forest Research*, 130 (5), 717-726. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0461-5>
- Noormets, A., Epron, D., Domec, J. C., McNulty, S. G., Fox, T., Sun, G., & King, J. S. (2015). Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis. *Forest Ecology and Management*, 355, 124-140. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.019>
- Schlesinger, W. H., & Jasechko, S. (2014). Transpiration in the global water cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189-190, 115-117. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.01.011>
- Šebeň, V., Konôpka, B., Bošľaľ, M., & Pajtik, J. (2015). Contrasting development of declining and living larch-spruce stands after a disturbance event: a case study from the High Tatra Mts. *Lesnický Casopis – Forestry Journal*, 61, 157-166. <https://doi.org/10.1515/forj-2015-0024>
- Shparyk, Y. S. (2014). Form diversity and health conditions of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the main forest types of the Ukrainian Carpathians. *Forestry & Agroforestmelioration*, 125, 87-96 (in Ukrainian).
- Shparyk, Y. S. (2016). *Sustainable forest management (on the example of the Ukrainian Carpathians)*. Ivano-Fankivsk: Printing area (in Ukrainian).
- Shparyk, Y. S. (2017). Economic results of spruce forests' decline in the Ukrainian Carpathians. *Scientific works of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences*, 15, 129-139. <https://doi.org/10.15421/411717> (in Ukrainian).
- Shparyk, Y. S., Parpan, T. V., Slobodyan, P. Y., Savchyn, T. I., & Bunij, V. Y. (2013). Spruce forest decline on the north-eastern megaslope of the Ukrainian Carpathians. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 23.5, 141-147 (in Ukrainian).
- UkrRIMF (2014). *Studying of Spruce forests decline reasons in the Carpathian region for the forestry instruction preparation on the management plane for these forests and on the forestry actions for their transformation on native stands*. Final report. Ivano-Frankivsk, UkrRIMF (in Ukrainian).
- Vajdanych, T. V., Dejneka, A. M., & Myklush, S. I. (2000). Method for mass determining of photosynthetic bound atmospheric carbon dioxide and deposited carbon in the forest stands. *Patent of Ukraine*, 45794, 5 (in Ukrainian).

Екологіческие последствия усыхания ельников в основных типах леса Украинских Карпат

Ю. С. Шпарык¹

Стационарные исследования динамики усыхания еловых древостоев Украинских Карпат проведены на 21 пробной площади на протяжении 2010-2014 годов. Анализ результатов исследований позволил оценить экологические последствия усыхания ельников в следующих типах леса: влажная кедрово-еловая суборь, влажная чистая сурамень, влажная буково-пихтовая сурамень, влажный буково-еловый супихтач и влажный буково-еловый пихтач. Оценка экологической эффективности ельников региона проведена в контексте решения насущных экологических проблем: сохранение биоразнообразия, предупреждение изменений климата, улучшение комфортности лесов для рекреации.

Динамика фиторазнообразия усыхающих ельников в подавляющем большинстве (на 91% объектов) направлена на увеличение количества видов растений – в среднем на 49%. По типам леса это увеличение составляет от 20 до 80%. По группам возраста наименьшее увеличение имеет место в средневозрастных древостоях (23%), максимальное (86%) – в приспевающих. В спелых и перестойных усыхающих ельниках увеличение фиторазнообразия составило 42-46%. По стадиям усыхания установлена достоверная тенденция к уменьшению интенсивности возрастания количества видов от стадии начального усыхания к стадии стабилизации усыхания. Ключевым фактором для детерминации динамики фиторазнообразия является интенсивность усыхания ельников.

Динамика запаса депонированного углерода в усыхающих ельниках в большинстве (на 55% объектов) направлена на его увеличение, но среднее значение составляет -2,3%. Этот факт обусловлен ростом объемов мертвой лежащей древесины и количеством подроста на фоне уменьшения запаса древостоя. Максимальные изменения запаса углерода установлены в условиях влажного буково-елового супихтача (+3%) и влажной буково-пихтовой сурамени (-11%). По группам возраста запас углерода увеличивается в средневозрастных и приспевающих ельниках, но уменьшается – в спелых и перестойных древостоях. По стадиям усыхания изменения запаса углерода характеризуются максимумом (+0,2%) на начальной стадии, минимумом (-6,2%) – на стадии прогрессирующего и средними значениями (-2,5%) – на стадии стабилизации усыхания. Детер-

¹ Шпарык Юрий Степанович – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник. Украинский научно-исследовательский институт горного лесоводства имени П. С. Пастернака, ул. Грушевского, 31, г. Ивано-Франковск, 76018, Украина. Тел.: 0342-53-02-36, +38-050-188-02-61. E-mail: yuriy.shparyk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8047-6356>

минируется динамика запасов углерода количеством и интенсивностью санитарных рубок.

Изменения объема продуцирования кислорода ельниками в процессе усыхания в подавляющем большинстве (на 91% объектов) имеют тенденцию к уменьшению – в среднем на 8,0%. По группам возраста эти изменения имеют тенденцию к увеличению потерь объемов выработки кислорода от средневозрастных и приспевающих к спелым ельникам. Изменения объема выработки кислорода ельниками по стадиям усыхания также выровненные: на начальной стадии – уменьшение на уровне 10%; на стадии прогрессирующего усыхания – уменьшение на 12%; на стадии стабилизации усыхания – потери почти отсутствуют. Объясняется это максимальными потерями органической массы на стадиях начала и прогрессирующего усыхания.

Установлено, что экологические последствия усыхания ельников Украинских Карпат для большинства показателей – положительные (улучшение фиторазнообразия, формирование устойчивых смешанных древостоев, увеличение запасов депонированного углерода в насаждениях без проведения санитарных рубок), но по отдельным показателям – отрицательные (уменьшение запасов депонированного углерода при проведении санитарных рубок, ухудшение эффективности выработки кислорода).

Ключевые слова: ель европейская; типы древостоев; возрастные группы; стадии усыхания; фиторазнообразие; депонирование углерода; продуцирование кислорода.

Ecological results of Norway spruce forests' decline in main forest types of the Ukrainian Carpathians

Y. Shparyk¹

Stationary studies of the decline dynamics on the 21st Norway spruce forest stands in the Ukrainian Carpathians were conducted in 2010-2014. The analysis of the research results made it possible to assess the environmental impacts of their decline for the following forest types: wet European cedar pine – Norway spruce fairly poor, wet pure Norway spruce fairly fertile, wet Common beech – Silver fir – Norway spruce fairly fertile, wet Common beech – Norway spruce – Silver fir fairly fertile and wet

Common beech – Norway spruce – Silver fir fertile. The assessment of the ecological effectiveness of the regional Norway spruce forests has been carried out in the context of solving urgent environmental problems: biodiversity conservation, climate change mitigation, and improvement of the conditions for forest recreation.

Dynamics of the plants' diversity in the spruce forests declining were mainly (on the 91% of the objects) aimed at increasing of the plant species number – in average on 49%. By age groups, the smallest increase was in pole stands (23%), the biggest (86%) – in pre-mature and 42-46% – in the mature and over mature spruce stands. By declining stages, it has established a clear tendency to reduce the intensity of the growth of species number from the stage of initial declining to the stage of declining stabilization. The declining intensity was a key for determining of the dynamics of the plants' diversity.

The dynamics of the carbon storage in the declining spruce forests were mainly (on the 55% of objects) aimed at increasing too, but the average changes is -2.3%. Maximum changes in carbon stock were set in the following conditions: wet Common beech – Norway spruce – Silver fir fairly fertile – increasing on 3%; wet Common beech – Silver fir – Norway spruce fairly fertile – decreasing on 11%. By age groups, the carbon stock increased in the middle-age and pre-mature, but decreased in the mature and over mature spruce stands. By declining stages, the carbon stock changes were characterized by maximum (+ 0.2%) at the initial stage, minimum (-6.2) – at the stage of progressive declining and average values (-2.5%) – at the stage of declining stabilization. Holding and the intensity of sanitary felling determine the dynamics of carbon stocks.

Changes in the volume of oxygen production in the declining spruce forests had the trend to decreasing on the 91% of objects – an average of 8.0%. By age group, these changes were not significant (from -6.2 to -9.2%), had trend to increasing the losses of oxygen production from middle-age, and pre-mature to mature and over mature spruce stands. By declining stages, these changes were not significant too: at the initial stage was decreasing on 10%; within progressive declining – decreasing on 12%; at the declining stabilization stage – there were practically no losses. It was explained by the maximum losses of organic matter on the initial and progressive declining stages.

It is concluded that the ecological results of the Ukrainian Carpathians spruce forests' decline for most of the indicators are positive (increase of phytodiversity, formation of stable mixed forest stands, increase of the carbon storage without sanitary cuttings), but for some indicators are negative (reduction of the carbon storage with sanitary cuttings, deterioration of oxygen production efficiency).

Key words: Norway Spruce; forest stand types; age groups; decline stages; phytodiversity; carbon stock; oxygen production; trends.

¹ *Yuriy Shparyk* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Scientist of the Ukrainian Research Institute for Mountain Forestry after P.S. Pasternak, Grushevskogo str., 31, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. Tel.: 0342-53-02-36, + 38-050-188-02-61. E-mail: yuriy.shparyk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8047-6356>