

Ivanna Kulbanska

Narodowy Uniwersytet Biozasobów i Zarządzania Przyrodą Ukrainy, Kijów, Ukraina, adres e-mail: kulbanska@nubip.edu.ua

Mirosława Soroka

Narodowy Uniwersytet Leśnictwa Ukrainy we Lwowie, Ukraina, adres e-mail: myroslava_soroka@yahoo.com

Anatolij Gojczuk

Narodowy Uniwersytet Biozasobów i Zarządzania Przyrodą Ukrainy, Kijów, Ukraina, adres e-mail: ogoychuk@gmail.com

Petro Plichciak

Oddział „Leśnictwo Kuckie”, Yabluniv, Ivano-Frankivsk region, Ukraina, adres e-mail: kdlhlis@ukr.net

STAN SANITARNY LASÓW KARPAT POKUCKO-BUKOWIŃSKICH I CZYNNIKI JEGO POGORSZENIA

SANITARY CONDITION OF THE FOREST IN THE POKUT-BUKOVYNIAN CARPATHIANS AND THE FACTORS FOR ITS DEGRADATION

Słowa kluczowe: etiologia, grzyby niszczące drewno, bakterioza, *Picea abies*, *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, wskaźnik stanu sanitarnego

Key words: etiology, wood-destroying fungi, bacteriosis, *Picea abies*, *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, sanitary condition index

Abstract. The analysis of negative external factors impacting the general sanitary state of forests enables the identification of leading factors that significantly influence disease occurrence and the accelerated dieback of woody plants in forests. This understanding facilitates timely measures to manage their spread. The forests of the Pokut-Bukovynian Carpathians are currently in a poor sanitary condition and exhibit moderate degradation. Although the damage and lesions are currently localized, they are dynamic and evolving. Among the phytopathogens that weaken *Picea abies*, *Abies alba*, and *Fagus sylvatica*, notable species include *Lelliottia nimipressuralis* (the causative agent of bacterial wetwood), *Melampsorella cerastii* (the causative agent of fir ulcer-tumorous disease), and a complex of wood-destroying fungi, including *Heterobasidion annosum*, *Armillaria mellea*, *Phellinus hartigii*, *Fomes fomentarius*, and *Fomitopsis pinicola*.

WSTĘP

Osłabienie i ogólna degradacja lasów na skutek dynamicznego rozprzestrzeniania się inwazyjnych gatunków szkodników i fitopatogenów (czynników chorób zakaźnych) jest nieodwracalnym procesem naturalnym, który

nasilił się w ostatnich latach na tle globalnych zmian klimatycznych i antropogenicznych przekształceń środowiska. Dlatego głównym celem leśników w Ukrainie jest kształtowanie naturalnych ekosystemów leśnych o wysokim poziomie odporności na zagrożenia biotyczne. Niezbędne jest stałe monitorowanie stanu sanitarnego masywów leśnych, terminowe diagnozowanie zjawisk patologicznych oraz podejmowanie szybkich i racjonalnych decyzji dotyczących ich eliminacji.

Lasy mają kluczowe znaczenie jako środowisko dla rozwoju i trwałości różnorodności biologicznej, nadają szeroki zakres usług środowiskowych obejmujących regulację klimatu, zjawisk meteorologicznych i przepływów wody, kontrolę cyklu hydrologicznego, ochronę działów wodnych, gleb i roślinności. Ponadto lasy naturalne są źródłem ważnych informacji genetycznych [Pearce D., Pearce C., 2001].

Jednocześnie drzewa leśne są ważnym źródłem pożywienia dla różnego rodzaju organizmów fitopatogennych, w tym szkodliwych owadów i czynników zakaźnych (grzyby, bakterie, wirusy itp.). Należy zauważyć, że fitopatogeny od milionów lat współistnieją w równowadze ze środowiskiem leśnym nie powodując większych szkód. Gdy jednak równowaga ta zostanie zakłócona, mogą wystąpić ogniska masowego wzrostu liczebności i rozprzestrzeniania się patogenów, co może mieć nieodwracalne, negatywne skutki [Meshkova V., 2019].

Obecnie praktycznie na całej kuli ziemskiej odczuwalne są skutki globalnego ocieplenia, które prowadzi do zubożenia zasobów wodnych i w efekcie obumierania leśnych roślin drzewiastych. Według raportu Państwowej Agencji Zasobów Leśnych Ukrainy z dnia 1 stycznia 2020 roku łączna powierzchnia obumierania lasów na terytorium Ukrainy wynosiła ponad 420 000 ha, z czego bory sosnowe zajmowały 220 000 ha, świerkowe – 30 000 ha, lasy dąbowe – 100 000 ha, drzewostany innych gatunków - 70 000 ha [*Publik report heads of State Forest Agencies Resouces of Ukraine, 2020*].

W ciągu ostatnich dwóch lat agresja militarna Rosji spowodowała ogromne szkody w lasach Ukrainy. Według raportu Ministerstwa Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Ukrainy ponad 3 miliony hektarów lasów zostały uszkodzone, w tym w obwodzie czernihowskim - około 400 000 ha, sumskim - 290 000 ha, ługańskim - 200 000 ha, w kijowskim, żytomierskim i charkowskim - po 120-160 000 ha. Zagrożonych zniszczeniem jest 812 obszarów chronionych (2,9 mln. ha Sieci Szmaragdowej + 400 000 ha obszarów Ramsarskich) [*The impact of the war on nature conservation areas of Ukraine, 2023*]. Liczby te nadal rosną.

W ostatnich dziesięcioleciach w Ukrainie obserwuje się zjawisko masowego obumierania większości gatunków drzew leśnych - *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) Karsten, *Quercus robur* L., *Abies alba* Mill., *Betula pendula* Roth., *Fraxinus excelsior* L. i in. Istnieją różne założenia dotyczące przyczyn tego zjawiska, m.in. globalne zmiany klimatyczne [Zhang L. et al., 2018], zaburzenie reżimu hydrotermalnego [Christopoulou A. et al., 2022], rozprzestrzenianie się inwazyjnych gatunków patogenów i szkodników [Goychuk A., Drozda V., Shvets

M., Kulbanska I., 2020], naturalne zmiany biotopu [Kobal M. et al., 2015], działalność człowieka [Meshkova V., Borysenko O., Pryhornytskyi V., 2018] oraz połączone jednoczesne działanie różnych typów czynników środowiskowych zgodnie z teorią policzynnikową [Elling W. et al., 2009].

Wśród głównych przyczyn obumierania *Pinus sylvestris* wyróżniają działalność fitopatogenów *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. [Zhezhkun A., Porohnyach I., 2020], *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell [Elvira-Recuenco M. et al., 2020], *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner and Buhrer) Nickle, 1934 [Yusuf A. et al., 2021], *Ips acuminatus* Gyll. [Meshkova V., 2019] i in. Przyczyną osłabienia lasów dębowych jest rozprzestrzenianie się *Ceratocystis fagacearum* (Bretz.) Hunt. [Juzwik J. et al. 2008], *Lelliottia nimipressuralis* (Carter 1945) Brady et al. 2013 [Kulbanska I. et al., 2021], *Phytophthora ramorum* Werres, De Cock & Man in't Veld [Grünwald N. J. et al. 2008] i in. Obumieranie *Betula pendula* jest spowodowane głównie epifitotycznym rozprzestrzenianiem się *Enterobacter nimipressuralis* (Carter 1945) Brenner et al. 1988 [Goychuk A., Drozda V., Shvets M., Kulbanska I., 2020]. Degradacja *Abies alba* wiąże się z dużą wrażliwością na emisję SO₂ [Elling W. et al., 2009] oraz wpływem fitopatogennych organizmów - *Lelliottia nimipressuralis* [Soroka M. et al., 2018; Kulbanska I. et al., 2022], *Heterobasidion annosum* (Oliva & Colinas, 2010), *Phytophthora citricola* Sawada [Orlikowski L., Duda B., Szkuta G., 2004], *Polygraphus proximus* Blandford [Kharuk V., 2017] i in. Głównymi czynnikami zakaźnymi prowadzącymi do zamierania *Fraxinus excelsior* jest grzyb *Hymenoscyphus fraxineus* (T. Kowalski) Baral, Queloz & Hosoya i bakteria fitopatogenna *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* [Goychuk A., Kulbanska I., Shvets M., 2020].

Ze względu na katastrofalną skalę degradacji, która obejmuje niemal wszystkie typy roślinności leśnej, zanikanie lasów staje się zjawiskiem złożonym mającym konsekwencje społeczne, gospodarcze, polityczne i kulturowe. Błędne jest zakładanie, że wylesianie jest wynikiem prostego związku przyczynowo-skutkowego lub to, że związek ten nie ulegnie zmianie w czasie [Contreras-Hermosilla A., 2000].

Celem tej pracy była ocena aktualnego stanu sanitarnego lasów Karpat Pokucko-Bukowińskich oraz badanie składu gatunkowego fitopatogenów wywołujących degradację populacji *Picea abies*, *Abies alba* i *Fagus sylvatica*.

MATERIAŁY I METODY

Badania stanu sanitarnego lasów Karpat Pokucko-Bukowińskich przeprowadzono w latach 2021-2023 na 15 polach doświadczalnych (zwanymi dalej PD) zgodnie z ogólnie przyjętymi metodami i wymaganiami [SOU 02.02-37-476:2006, 2007] na terenach leśnych Karpat Pokucko-Bukowińskich (Tab. 1).

Charakterystykę PD podano zgodnie z opisami podatkowymi przedsiębiorstw dostarczonymi przez „Ukrderzhlisproekt” [<https://nfi.lisproekt.gov.ua/>].

Tab. 1. Charakterystyka powierzchni badawczych na terenie Karpat Pokucko-Bukowińskich

№ PD	Lokalizacja PD (leśnictwo, dzielnica/ wydział)	Współrzędne	Powierzchnia PD, ha	Skład gatunkowy drzewostanu	Wiek drzewostanu	Średnia wysokość(m)/ Średnica(cm)
Oddział „Leśnictwo Kutske”						
1	Berezivske, 2/13	48°23'56.7"N 24°57'27.9"E	0,25	7 Jdl, 2 Św, 1Bk	90	27/32
2	Berezivske, 3/22	48°23'56.7"N 24°57'27.9"E	0,25	6 Św, 4 Jdl	50	20/26
3	Kutskie, 23/13	48°23'56.7"N 24°57'27.9"E	0,25	9 Jdl, 1 Św +Bk	93	28/40
4	Kutskie, 30/23	48°23'56.7"N 24°57'27.9"E	0,25	7 Jdl, 3Bk	118	27/50
5	Kosivske, 23/13	48°23'56.7"N 24°57'27.9"E	0,25	9 Jdl, 1 Św +Bk	93	28/40
6	Kosivske, 31/9	48°23'56.7"N 24°57'27.9"E	0,25	7 Jd 2 Św, 1Bk	103	25/36
7	Kosivske, 35/9	48°23'56.7"N 24°57'27.9"E	0,25	9 Jdl, 1Bk	90	25/40
8	Yablunivske, 11/32	48°23'56.7"N 24°57'27.9"E	0,25	9 Jdl, 1 Św	68	25/32
Oddział „Leśnictwo Iwano-Frankowskie”						
9	Rybnenske, 16/21	48°56'38.5"N 24°38'13.8"E	0,25	9 Jdl, 1 Św +Bp	70	27/32
10	Rybnenske, 46/6	48°57'19.7"N 24°35'38.6"E	0,25	5 Jdl, 5 Św	65	23/24
11	Yamnenske, 18/17	48°58'47.9"N 24°41'34.3"E	0,25	10 Jdl +Gz+ Św	90	26/32
Oddział „Gospodarstwo leśno-łowieckie Berehomet”						
12	Berehometske, 15/26	48°11'50.9"N 25°21'26.0"E	0,25	10 Jdl +Bk	125	30/40
13	Berehometske, 18/30	48°11'46.8"N 25°21'16.2"E	0,25	6 Św 3 Jdl, 1Bk	90	26/28
14	Vashkivetske, 2/11	48°11'34.2"N 25°21'00.0"E	0,25	8 Jdl, 2Bk+ Św	75	28/30
15	Myhivske, 10/27	48°13'06.3"N 25°18'14.8"E	0,25	8 Jdl, 2 Św	65	25/30

Źródło: Opracowanie własne.

Kategoria stanu sanitarnego drzew została ustalona zgodnie z obowiązującymi wymaganiami [Sanitary rules in the forests of Ukraine, 1995]. Ocena stanu sanitarnego drzewostanu przeprowadzono za pomocą średnioważonego wskaźnika stanu sanitarnego (I_s = od 1 do 6), obliczonego według wzoru:

$$I.s = \frac{\sum ki \cdot ni}{N},$$

gdzie: ki – kategoria stanu drzew (od I do VI)

ni - liczba drzew odpowiedniej kategorii stanu

N - łączna liczba drzew

Łącznie objętych inspekcją sanitarną zostało 3119 drzew jodły, świerka i buka, które przy ustalaniu wskaźnika stanu sanitarnego podzielono na 6 kategorii. Do badań miko- i mikrobiologicznych, które przeprowadzono zgodnie ze standardowymi protokołami oraz według V. Patyki i współautorów [Patyka V. et al., 2017], wybrano ponad 110 próbek z 9 drzew modelowych II i III kategorii stanu sanitarnego (Tab. 2).

Tab. 2. Charakterystyka pobranych próbek fitopatologicznych

№ drzewa modelowego	Gatunek drzewa	Kategoria stanu sanitarnego*	Liczba próbek, szt.	Miejsce selekcji i rodzaj próbki
1	<i>Picea abies</i>	II	20	Materiał siewny (nasiona ze skrzydełkami)
			6	Pęd vegetatywny (tkanki przewodzące)
2	<i>Picea abies</i>	III	4	Szczyt (stożek wzrostu) pędu vegetatywnego
			5	Drewno (ksylem wtórny)
3	<i>Picea abies</i>	III	2	Pęd vegetatywny (tkanki przewodzące)
			2	Drewno (ksylem wtórny)
4	<i>Abies alba</i>	III	20	Materiał siewny (nasiona ze skrzydełkami)
5	<i>Abies alba</i>	II	3	Pęd vegetatywny (tkanki przewodzące)
			3	Drewno (ksylem wtórny)
6	<i>Abies alba</i>	II	8	Drewno (ksylem wtórny)
7	<i>Fagus sylvatica</i>	III	20	Materiał siewny (orzechy)
			6	Pęd vegetatywny (tkanki przewodzące)
8	<i>Fagus sylvatica</i>	III	2	Szczyt (stożek wzrostu) pędu vegetatywnego
			3	Drewno (ksylem wtórny)
9	<i>Fagus sylvatica</i>	II	3	Pęd vegetatywny (tkanki przewodzące)
			3	Drewno (ksylem wtórny)
Razem			110	

Uwagi: * – II kategoria stanu sanitarnego – drzewa osłabione, w których 1/3 igieł (liści) jest uszkodzone lub wyschnięte, zahamowany wzrost drzew; III kategoria – drzewa silnie osłabione: 2/3 igieł (liści) są uszkodzone lub ich brak, znacznie ograniczony wzrost.

Źródło: Opracowanie własne.

Do określenia składu gatunkowego czynników chorób zakaźnych stosowano specjalne metody badań makro- i mikroskopowych oraz mykologicznych. Materiał fitopatologiczny oznaczono w warunkach laboratoryjnych metodami mikroskopii świetlnej. W celu identyfikacji patogenów zainfekowane części roślin drzewiastych umieszczano w wilgotnych komorach szalek Petriego i hodowano przez 7–10 dni w temperaturze +25°C. Badania i identyfikację grzybów zgniliznowych przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych przy użyciu lupy dwuokularowej MBS-9 i mikroskopu MBI-3. Struktury makroskopowe badano przy powiększeniach od $\times 8$ do $\times 100$. Mikrostruktury badano na mikropreparatach tymczasowych pod mikroskopem (okular $\times 15$, obiektywy $\times 8$, $\times 20$, $\times 40$).

Nazwy łacińskie gatunków roślin wyższych nadawane są według World Flora Online (<https://www.worldfloraonline.org>), mykobioty - według Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org>), mikroorganizmów - według List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature (<http://www.bacterio.cict.fr/e/erwinia.html>).

WYNIKI BADAŃ

Badania prowadzono w latach 2021-2023 na terenie Karpat Pokucko-Bukowińskich stanowiących odrębny rejon fizyczno-geograficzny. Region ma formę równoległych pasm górskich, które rozciągają się w kierunku z północnego zachodu na południowy wschód od źródeł rzeki Łuczki (dopływ Pruta) do granicy z Rumunią. Zgodnie z podziałem geobotanicznym to rejon lasów świerkowo-jodłowo-bukowych i świerkowo-bukowo-jodłowych Karpat Ukraińskich [Golubets M., 2003]. Na podstawie wyników badań fitopatologicznych na 15 PD obliczono wskaźnik stanu sanitarnego lasów Karpat Pokucko-Bukowińskich (Tab. 3).

Tab. 3. Średnie wartości wskaźnika stanu sanitarnego (Is_{1-6}) na powierzchniach badawczych w lasach Karpat Pokucko-Bukowińskich w latach 2021–2023

№PD	Lokalizacja PD (leśnictwo, dzielnica/wydział)	Indeks stanu sanitarnego (Is_{1-6}) *		
		2021	2022	2023
Oddział „Leśnictwo Kutske ”				
1	Berezivske, 2/13	2,05	2,23	2,34
2	Berezivske, 3/22	1,39	1,57	1,67
3	Kutske, 23/13	2,51	2,51	2,21
4	Kutske, 30/23	1,54	1,56	1,77
5	Kosivske, 23/13	1,74	1,88	1,89
6	Kosivske, 31/9	3,51	3,27	3,17
7	Kosivske, 35/9	1,60	1,53	1,55
8	Yablunivske, 11/32	2,48	2,56	2,69

Oddział „Leśnictwo Iwano_Frankowskie”				
9	Rybnenske, 16/21	2,91	2,99	3,01
10	Rybnenske, 46/6	2,66	2,59	2,67
11	Yamnenske, 18/17	2,75	2,71	2,69
Oddział „Gospodarstwo leśno-łowieckie Berehomet”				
12	Berehometske, 15/26	3,12	2,81	2,67
13	Berehometske, 18/30	3,34	3,52	3,51
14	Vashkivetske, 2/11	3,55	3,17	3,15
15	Myhivske, 10/27	2,41	2,61	2,53

Uwagi: * – Indeks stanu sanitarnego (Is= 1-6) uwzględnia stan wszystkich drzew żywych i martwych.

Źródło: *Opracowanie własne.*

W 2021 roku spośród zbadanych 3119 drzew jodły, świerka i buka ogólna liczba drzew z oznakami chorób lub uszkodzeń wyniosła 1955. Średni ważony wskaźnik stanu sanitarnego na powierzchniach badawczych (Is=2,50) pozwala określić stopień uszkodzeń lasu jako słaby, tj. nie więcej niż 10% drzew osłabionych, usychających i suchych, przy czym tworzą one pojedyncze grupy do 20% powierzchni działki. Ogólny stan sanitarny lasu jest słaby. Jednocześnie drzewostany sztucznego pochodzenia na PD nr 2, gdzie Is=1,39 są zdrowe i w wyniku przeprowadzonych oględzin pod kątem typowych makroskopowych objawów infekcji nie stwierdzono żadnych uszkodzeń, a jedynie pojedyncze owocniki makromycetów. Bardzo zły stan sanitarny drzewostanu stwierdzono w PD nr 6 i PD nr 14. Obecnie stopień uszkodzeń jest średni, jednak w pobranych próbach odnotowano niepokojące objawy nieodwracalnej degradacji drzewostanów: obecność drzew w V i VI kategorii oraz ognisk opuchlizny bakteryjnej.

W 2022 roku ogólna liczba roślin drzewiastych z objawami choroby lub uszkodzenia wyniosła 2010. Średni ważony wskaźnik stanu sanitarnego na powierzchniach doświadczalnych (Is=2,49) pozwala określić stopień uszkodzeń jako słaby, tj. nie więcej niż 10% drzew osłabionych, usychających i suchych, przy czym tworzą one pojedyncze grupy na 20% powierzchni działki. Ogólny stan sanitarny drzewostanu jest słaby. Jednocześnie nie zaobserwowano drzewostanów zdrowych (Is>1,50). Na PD nr 13 zarejestrowano znaczne pogorszenie stanu sanitarnego (Is=3,52). Obecnie stopień uszkodzeń drzewostanu jest średni, jednak w pobranych próbach odnotowano niepokojące objawy nieodwracalnej degradacji drzewostanów: obecność drzew w V i VI kategorii stanu oraz ogniska opuchlizny bakteryjnej.

W 2023 r. łączna liczba drzew z oznakami chorób lub uszkodzeń wyniosła 2041. Średni ważony wskaźnik stanu sanitarnego badanych powierzchni próbnych (Is=2,50) pozwala określić stopień uszkodzeń lasu jako słaby, tj. nie większy niż 10% drzew osłabionych, usychających i suchych, podczas gdy tworzą się one

pojedyncze grupy stanowiące nie więcej niż 20% powierzchni badawczej. Ogólny stan sanitarny drzewostanu jest słaby. Jednocześnie zdrowe drzewostany nie są zarejestrowane ($Is > 1,50$). Na PD nr 13 stwierdzono znaczne pogorszenie stanu sanitarnego ($Is = 3,51$). Obecnie stopień uszkodzeń jest średni, w pobranych próbach odnotowano objawy degradacji drzewostanów: obecność drzew w V i VI kategorii stanu, ogniska opuchlizny bakteryjnej. Zauważono, że osłabienie i usychanie drzewostanów Karpat Pokucko-Bukowińskich dotyczy starszych kategorii wiekowych drzewostanu. Obecnie uszkodzenia i zmiany chorobowe mają charakter miejscowy, ale dynamiczny. W początkowej fazie zmian patologicznych lasne drzewa obumierają pojedynczo, później pojawiają się skupiska osłabionych drzew. Kolejnym etapem jest zamieranie grupy drzew, którego naturalną konsekwencją jest proces degradacji (dygresji) całego drzewostanu.

W wyniku badań na 15 PD stwierdzono, że drzewa są osłabione na skutek uszkodzeń zespołem chorób oraz spowodowanych zjawiskami naturalnymi. Stopień uszkodzenia jest słaby i średni. Zaobserwowano typowe oznaki rozprzestrzeniania się niebezpiecznej choroby – bakteryjną opuchlizną jodły, która ma charakter epifitotyczny i prowadzi do przyspieszonej śmierci drzew starszych grup wiekowych. Na jodle stwierdzono również oznaki choroby nowotworowej, które objawiają się guzami, „czarcimi miotłami”, owrzodzeniami pędów i pni (Ryc. 1).



Ryc. 1. Wydzielanie się wysięku bakteryjnego – typowy objaw infekcji bakteryjnej opuchlizny (po lewej stronie) i tworzenie się krzaka „czarciej miotły” (po prawej) – oznaka rozwoju choroby wrzodowo-nowotworowej

Źródło: I. Kulbańska.

Dodatkowo określono skład gatunkowy makromycetów na rosnących i opadłych pniach jodły: *Heterobasidion annosum*, *Trichaptum abietinum* (Pers. ex J.F. Gmel.) Ryvarden, *Phellinus hartigii* (Allesch. & Schnabl) Pat. i in. (Ryc. 2), *Fomes fomentarius* i *Fomitopsis pinicola* (Ryc. 3), *Hericium coralloides* (Scop.) Pers. (gatunek reliktowy wpisany do Czerwonej Księgi Ukrainy (*Red Book of Ukraine*, 2009) (Ryc. 4).



Ryc. 2. Owocniki *Heterobasidion annosum* (po lewej stronie) i *Phellinus hartigii* (po prawej)

Źródło: M. Soroka.



Ryc. 3. Owocniki *Fomes fomentarius* na rosnącym pniu *Fagus sylvatica* (po lewej stronie) i *Fomitopsis pinicola* na pniu *Abies alba* (po prawej)

Źródło: I. Kulbanska.



Ryc. 4. Owocniki *Hericium coralloides* (po lewej stronie) (gatunek wpisany do Czerwonej Księgi Ukrainy (*Red Book of Ukraine*, 2009) i *Hericium flagellum* na pniach jodły (po prawej)

Źródło: M. Soroka.

W toku monitoringu sanitarnego zarejestrowano także uszkodzenia poszczególnych drzew (III kategoria stanu sanitarnego) przez kambiofagi. Stwierdzono obecność drzew wywiewanych przez wiatr, drzew z uszkodzonym systemem korzeniowym, uszkodzeniami mechanicznymi pni, drzew z połamanymi wierzchołkami oraz licznymi pęknięciami mrozowymi. Zidentyfikowano czynniki wywołujące podstawowe choroby drzew leśnych badanego rejonu. Skład gatunkowy patogenów jodły, świerka i buka szczegółowo przedstawione w Tab. 4.

Tab. 4. Skład gatunkowy patogenów drzew Karpat Pokucko-Bukowińskich

Nazwa łacińska	N PD	Miejsce lokalizacji
<i>Picea abies</i>		
<i>Heterobasidion parviporum</i> Niemelä & Korhonen 1988	2,10	U podstawy pnia
<i>Heterobasidion annosum</i> (Fr.) Bref. 1988	2,3	U podstawy pnia
<i>Armillaria mellea</i> (Vahl) P. Kumm., 1871	10	Na pniach i w ich pobliżu, na korzeniach drzew, na zgniłym drewnie
<i>Climacocystis borealis</i> (Fr.) Kotl. & Pouzar., 1958	3,8	Na opadłych, martwych i żywych uszkodzonych pniach, na pniakach
<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst. 1881	5,6,10,15	Na żywych i opadłych pniach
<i>Fomitopsis rosea</i> (Alb. & Schwein.) P. Karst. 1881	6,15	Na opadłych i martwych pniach, na pniakach
<i>Trichaptum fuscoviolaceum</i> (Ehrenb.) Ryvarden 1972	8,13	Na suchych i opadłych pniach i opadłych gałęziach
<i>Trichaptum abietinum</i> (Pers. ex J.F. Gmel.) Ryvarden, 1972	3,8	Na upadłym pniu

<i>Amylocorticium subsulphureum</i> (P. Karst.) Pouzar 1959	13	Na upadłym pniu
<i>Henningsomyces candidus</i> (Pers.) Kuntze 1898	5	U podstawy pnia
<i>Pycnoporellus alboluteus</i> (Ellis & Everh.) Kotl. & Pouzar 1963	1,9	Na spodniej stronie opadłych pni
<i>Gloeophyllum abietinum</i> (Fr.) P. Karst. 1882	6,10	Na martwych pniach i gałęziach
<i>Gloeophyllum odoratum</i> (Wulfen) Imazeki, 1943	13,15	Na żywych pniach
<i>Skeletocutis amorpha</i> (Fr.) Kotl. & Pouzar, 1958	10,15	Na martwych pniach
<i>Abies alba</i>		
<i>Heterobasidion annosum</i> (Fr.) Bref. 1988	2,10	U podstawy pnia
<i>Trichaptum abietinum</i> (Dicks.: Fr.) Ryvarden 1972	6,8	Na upadłym pniu
<i>Hericium coralloides</i> (Scop.: Fr.) Pers 1974	12	Na zgniłym drewnie
<i>Hericium flagellum</i> (Scop.) Pers. 1797	12	Na rosnącym pniu
<i>Lelliottia nimipressuralis</i> (Carter 1945) Brady et al. 2013	2,8,11	Na rosnącym pniu
<i>Melampsorella cerastii</i> (Pers.) J. Schröt. 1887	1,8,14	Na rosnącym pniu
<i>Phellinus hartigii</i> (Allesch. & Schnabl) Pat., 1903	6,9,14	Na żywych i opadłych pniach, na pniakach
<i>Melampsorella cerastii</i> (Pers.) J. Schröt. 1887	10,11	W koronie drzewa
<i>Fagus sylvatica</i>		
<i>Nectria ditissima</i> Tul. & C. Tul. 1865	4,12	Na rosnącym pniu
<i>Neonectria coccinea</i> (Pers.) Rossman & Samuels, 1999	1,7	Na suchych i opadłych gałęziach
<i>Nectria cinnabarina</i> (Tode) Fr. 1849	4,13	Na suchych i opadłych gałęziach
<i>Nectria galligena</i> Bres. 1901	1,4	Na suchych i opadłych gałęziach
<i>Stereum hirsutum</i> (Willd.) Pers. 1800	13	Na żywych i martwych gałęziach
<i>Irpex lacteus</i> (Fr.: Fr.) Fr. 1828	1,13	Na martwym drewnie
<i>Chondrostereum purpureum</i> (Fr.) Pouzar 1959	7	Na suchych gałęziach
<i>Vuilleminia comedens</i> (Nees.: Fr.) Maire 1902	1,13	Na zgniłym drewnie
<i>Schizophyllum commune</i> Fr. 1815	7,13	Na zgniłym drewnie
<i>Cerioporus varius</i> (Pers.) Zmitr. & Kovalenko, 2016	4	Na martwym drewnie
<i>Laetiporus sulphureus</i> (Bull.: Fr.) Murrill 1920	13	Na żywych pniach
<i>Ganoderma applanatum</i> (Pers.: Wallr.) Pat. 1887	1,7	Na żywych i martwych pniach
<i>Ganoderma resinaceum</i> Boud. 1889	1,14	Na żywych i martwych pniach
<i>Ramaria aurea</i> (Fr.) Quél. 1888	4	Na resztkach spróchniałego drewna
<i>Inonotus obliquus</i> (Pers.) Pilát 1942	13	Na żywych pniach
<i>Phellinus igniarius</i> (L.) Quél. 1886	4,14	Na żywych i opadłych pniach
<i>Daedalea quercina</i> (L.) Pers. 1801	7	Na martwych pniach
<i>Fomes fomentarius</i> (L.) Fr. 1849	4,13,14	Na żywych i opadłych pniach

<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst. 1881	13	Na żywych pniach
<i>Melogramma spiniferum</i> (Wallr.) De Not., 1863	4	Na żywych i martwych gałęziach
<i>Trichoderma sulphureum</i> (Schwein.) Jaklitsch & Voglmayr, 2014	1,14	Na martwych pędach
<i>Diatrype disciformis</i> (Hoffm.) Fr., 1849	13	Na martwych pędach
<i>Kretzschmaria deusta</i> (Hoffm.) P.M.D. Martin, 1970	1,7	Na martwych pędach
<i>Xylaria polymorpha</i> (Pers.) Grev., 1824	4,14	Na opadłych gnijących pniach i pniakach
<i>Plicaturopsis crispa</i> (Pers.) D.A. Reid, 1964	7	Na suchych i opadłych gałęziach
<i>Panellus stipticus</i> (Bull.) P. Karst., 1879	14	Na upadłym pniu
<i>Radulomyces molaris</i> (Chaillat ex Fr.) M.P. Christ., 1960	4,13	Na powalonych i martwych pniach drzew
<i>Calocera cornea</i> (Batsch) Fr., 1827	4,14	Na gnijących opadłych pniach i pniakach
<i>Dacrymyces stillatus</i> Nees, 1817	7, 13	Na zgniłych, opadłych pniach i gałęziach drzew
<i>Trametopsis cervina</i> (Schwein.) Tomšovský, 2008	4	Na żywych pniach
<i>Bjerkandera adusta</i> (Willd.) P. Karst., 1879	4,14	Na powalonych i martwych pniach drzew
<i>Daedaleopsis confragosa</i> (Bolton) J. Schröt., 1888	14	Na żywych pniach
<i>Cerioporus mollis</i> (Sommerf.) Zmitr. & Kovalenko, 2016	7,13	Na powalonych i martwych pniach drzew
<i>Trametes versicolor</i> (L.) Lloyd, 1920	7	Na martwych pniach
<i>Dentipellis fragilis</i> (Pers.) Donk, 1962	13	Na martwych pniach
<i>Hericium cirrhatum</i> (Pers.) Nikol., 1950	12	Na martwych pniach
<i>Tremella mesenterica</i> (Schaeff.) Retz., 1769	7	Na suchych i opadłych gałęziach

Źródło: Opracowanie własne.

Najwięcej gatunków fitopatogennych zarejestrowano na bukach (37 gatunków), 14 na świerku oraz najmniej (7 gatunków) na jodle. Jednak aktywność chorobotwórcza tych gatunków jest różna i objawia się na różnych etapach rozwoju choroby. Bakterie chorobotwórcze zostaną wykryte tylko w warunkach laboratoryjnych we wczesnych stadiach choroby, wówczas owocniki grzybów niszczących drewno pojawiają się już w końcowej fazie.

PODSUMOWANIE / WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że lasy górskie Karpat Pokucko-Bukowińskich są osłabione pod względem stanu sanitarnego i umiarkowanie zniszczone pod względem stopnia degradacji. W wyniku wpływu kompleksu negatywnych czynników środowiskowych w szczególności zmian reżimu hydrologicznego i ogólnego deficytu wody, w lasach Pokucko-Bukowińskich Karpat następuje ogólny spadek stabilności biologicznej rodzimych gatunków

drzew. Na wszystkich polach doświadczalnych gromadzą się martwe drzewa z V-VI kategorii stanu sanitarnego, zasiedlone przez kompleksy szkodniki pni.

Wyniki badań aktualnego stanu sanitarnego lasów Karpat Pokucko-Bukowińskich dają podstawy do twierdzenia, że pogorszenie ogólnego stanu drzew jodły, świerka i buka wiąże się ze szkodliwym działaniem chorób etiologii zakaźnej. Do najniebezpieczniejszych chorób zaliczają się zwłaszcza bakteriozy (pęcherz bakteryjny jodły białej, czynnikiem sprawczym jest fitopatogenna bakteria polibiotrofowa *Lelliottia nimipressuralis*) i wrzodziejąca choroba nowotworowa jodły białej (czynnikiem sprawczym jest grzyb rdzawy *Melampsorella cerastii* (Pers.) J. Schröt. 1887), które charakteryzują się ostrym procesem patologicznym, zdolnością do wywoływania epifitotii i w efekcie doprowadzenia w krótkim czasie do śmierci porażonych leśnych drzew.

Analizując skład gatunkowy fitopatogennych mykobiotów badanych cenoz leśnych, należy zauważyć, że pod względem ilościowym i jakościowym dominuje frakcja makromycetów, w szczególności podstawczaków ksyloτροφicznych. *Heterobasidion annosum*, *H. parviporum*, *Armillaria mellea* oraz *Ganoderma applanatum* to najgroźniejsze gatunki grzybów niszczących drzewo, które powodują gnicie korzeni jodeł, świerków i buków. Warto podkreślić, że wśród nich odnotowano gatunki rzadkie objęte ochroną ścisłą (Czerwona Księga Ukrainy (*Red Book of Ukraine*, 2009), zwłaszcza *Hericium coralloides*.

LITERATURA

- Christopoulou, A., Sazeides, C. I., Fyllas, N. M. (2022). *Size-mediated effects of climate on tree growth and mortality in Mediterranean Brutia pine forests*. *Science of The Total Environment*, 812, 151463. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151463>
- Contreras-Hermosilla, A. (2000). *The underlying causes of forest decline* (p. 25p). Jakarta, Indonesia: CIFOR.
- Elling, W., Dittmar, C., Pfaffelmoser, K., Rötzer, T. (2009). *Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (Abies alba Mill.) in Southern Germany*. *Forest Ecology and Management*, 257, 1175–1187. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.014>
- Elvira-Recuenco, M., Cacciola, S. O., Sanz-Ros, A., Garbelotto, M., Aguayo, J., Solla, A., Mullett, M., Drenkhan, T., Oskay, F., Aday, G., Iturrirxa, E., Cleary, M., Witzell, J., Georgieva, M., Papazova, I., Chira, D., Paraschiv, M., Musolin, D., Selikhovkin, A., Diez, J. (2020). *Potential Interactions Between Invasive Fusarium circinatum and Other Pine Pathogens in Europe*. *Forests*, 11, 7. <https://doi.org/10.3390/f11010007>
- Golubets, M.A. (2003). *Geobotanical zoning of the Ukrainian Carpathians is the basis of rational nature management*. *Proceedings of the Scientific Society named after Shevchenko*, XII, 283–292 [in Ukrainian].
- Goychuk, A., Drozda, V., Shvets, M., Kulbanska, I. (2020). *Bacterial wetwood of silver birch (Betula pendula roth): Symptomology, etiology and pathogenesis*. *Folia Forestalia Polonica*, 62, 145–159. <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0015>

- Goychuk, A., Kulbanska, I., Shvets, M. (2020). *Bacteria associated with Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* in the pathology of *Fraxinus excelsior* L. *Mikrobiol. Z.* 82 (3): 22-34. doi: <https://doi.org/10.15407/mikrobiolj82.03.022>
- Grünwald, N. J., Goss, E. M., Press, C. M. (2008). *Phytophthora ramorum*: A pathogen with a remarkably wide host range causing sudden oak death on oaks and ramorum blight on woody ornamentals. *Molecular Plant Pathology*, 9(6), 729–740. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00500.x>
- Index Fungorum* [online]. <http://www.indexfungorum.org> [dostęp 16.03.2023].
- Juzwik, J., Harrington, T. C., MacDonald, W. L., Appel, D. N. (2008). *The Origin of Ceratocystis fagacearum, the Oak Wilt Fungus*. *Annual Review of Phytopathology*, 46(1), 13–26. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.45.062806.094406>
- Kharuk, V.I. (2017). *Climate change drives "fog trees" from South to North*. «Kommersant» Nauka, 3. P. 24. [in Ukrainian].
- Kobal, M., Grcman, H., Zupan, M., Levanic, T., Simoncic, P., Kadunc, A., Hladnik, D. (2015). *Influence of soil properties on silver fir (Abies alba Mill.) growth in the Dinaric Mountains*. *Forest Ecology and Management*, 337, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.10.017>.
- Kulbanska, I., Goychuk, A., Shvets, M., Biliavska, L., Patyka, V. (2021). *Lelliottia nimipressuralis* (Carter 1945) Brady et al. 2013 – patient of bacterial hydrogen oak (*Quercus robur* L.) in Ukraine. *Mikrobiol. Z.*; 83 (5): 30-41. doi: <https://doi.org/10.15407/mikrobiolj83.05.030>
- Kulbanska, I.M., Plikhtyak, P.P., Goychuk, A.F., Shvets, M.V., Soroka, M.I. (2022). *Lelliottia nimipressuralis* (Carter 1945) Brady et al. 2013 as the causative agent of bacterial dropsy of common silver fir (*Abies alba* Mill.). *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, Vol. 64 (3), 173–183. DOI: 10.2478/ffp-2022-0017 *List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature* [online]. <http://www.bacterio.cict.fr/e/erwinia.html> [dostęp 25.04.2023].
- Meshkova, V. L., Borysenko, O.I., Pryhornytskyi, V.I. (2018). *Forest site conditions and other features of Scots pine stands favorable for bark beetles*. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 16, 106-114. <https://doi.org/10.15421/411812> (in Ukrainian).
- Meshkova, V. L. (2019). *Decline of pine forest in Ukraine with contribution from bark beetles: causes and trends*. *Bulletin of the Sankt-Petersburg Forestry Academy*, 228, 312-335 <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2019.228.312-335> [in Russian].
- Oliva, J., Colinas, C. (2010). *Epidemiology of Heterobasidion abietinum and Viscum album on silver fir (Abies alba) stands of the Pyrenees*. *Forest Pathology*, 40(1), 19–32. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2009.00603.x>
- Orlikowski, L. B., Duda, B., Szkuta, G. (2004). *Phytophthora citricola* on European beech and Silver fir in Polish forest nurseries. *Journal of Plant Protection Research*, 44(1), 57–64.
- Patyka, V. P., Pasichnyk, L. A., Hvozdyak, R. I., Petrychenko, V. F., Korniychuk, O. V., Kalinichenko A. V., Tomashuk, O. V. (2017). *Phytopathogenic bacteria. Research methods*. Vinnytsia: Windruck. 432 p. [in Ukrainian].
- Pearce, D.W., Pearce, C.G. (2001). *The value of forest ecosystems. A Report to the secretariat*. *Convention on biological diversity*, 59. Retrieved from http://www.cserge.ucl.ac.uk/Value_of_Forests.pdf

- Red Book of Ukraine. Plant world* (2009). Kyiv: Globalconsulting, 900. [in Ukrainian].
- Sanitary rules in the forests of Ukraine (1995). *Approved by the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 27.07.1995, No 555. Revision on 24.07.2022*. Kyiv: Ukraine. [online]. <http://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2018/10/14175-22.10.18.pdf> [dostęp 6.11.2023].
- Soroka, M. I., Wozniak, A., Hoychuk, A. F., Oniskiv, A. P., Plikhtyak, P. P. (2019) *Phytocenotic prerequisites for drying Abies alba Mill. in the forest coenoses of the state enterprise "Kutske Forestry"*. Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, (18), 21-34. <https://doi.org/10.15421/411902> (in Ukrainian).
- SOU 02.02-37-476:2006. *Forest inventory sample plots. Establishing method*. Corporate standard 02.02-37-476:2006. (2007). Kyiv, Ministry of Agrarian Policy, 32 p. (in Ukrainian).
- The impact of the war on nature conservation areas of Ukraine. [online]. <https://wwf.ua/forests-footer/?12163316/The-impact-of-war-on-protected-areas-in-Ukraine> [dostęp 6.11.2023].
- World Flora Online*. <https://www.worldfloraonline.org> [dostęp 8.12.2023].
- Yusuf, A., Acay, B., Mustapha, U.T., M., Baleanu, D. (2021) *Mathematical Modeling of Pine Wilt Disease with Caputo Fractional Operator*. Chaos, Solitons and Fractals, 143, Article ID: 110569. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110569>
- Zhang, L., Jiang, Yu., Zhao, Sh., Jiao, L., Wen, Ya. (2018). *Relationships between tree age and climate sensitivity of radial growth in different drought conditions of Qilian Mountains*. Northwestern China. Forests, 9, 135-138. doi: 10.3390/f9030135.
- Zhezhkun, A., Porohnyach, I. (2020). *Drying of pine stands of the Eastern Polissia: Spread, consequences, measures to overcome*. Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 21, 126–134. <https://doi.org/10.15421/412033> [in Ukrainian].
- Ukrainian State projekt forestry production association (Ukrderzhlisproek) [online]. <https://nfi.lisproekt.gov.ua/> [dostęp 12.11.2023].
- Publik report heads of State Forest Agencies Resouces of Ukraine, 2020 [online]. <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/publichniy-zvit-derzhlisagentstva-za-2020.pdf> [dostęp od 11.12.2022].

STRESZCZENIE

Produktywność i trwałość lasów zależą od wpływu różnych biotycznych i abiotycznych czynników środowiskowych. W szczególności wśród czynników biotycznych wpływających na stabilność ekosystemów leśnych wyróżniają się czynniki sprawcze chorób zakaźnych. Znaczenie szczegółowego badania aktualnego stanu sanitarnego lasów Karpat Pokucko-Bukowińskich wynika z konieczności oceny zdrowia ekosystemów leśnych w powiązaniu z pierwotnymi przyczynami osłabienia drzew oraz zagrożeń, jakie mogą mieć wpływ na ich stabilność i funkcjonowanie. Celem tej pracy jest ocena aktualnego stanu sanitarnego lasów Karpat Pokucko-Bukowińskich oraz identyfikacja czynników, które w największym stopniu wpływają na osłabienie i degradację populacji *Picea abies*, *Abies alba* i *Fagus sylvatica*. Zdrowie lasów ma kluczowe znaczenie dla wielu funkcji ekosystemów leśnych, w tym utrzymania równowagi ekologicznej i wysokiego poziomu różnorodności biologicznej, udziału w obiegu węgla oraz zdolności do samoreprodukcji. Współczesne wyzwania środowiskowe, takie jak zmiany klimatyczne,

presja antropogeniczna, ataki szkodników i choroby zakaźne, wymagają badań mających na celu określenie stopnia wrażliwości lasów oraz poszukiwanie możliwych strategii ich ochrony i odtwarzania. Ogólny stan sanitarny lasów Karpat Pokucko-Bukowińskich należy obecnie uznać za osłabiony. Następuje powolny, ale stały wzrost powierzchni naruszonych i martwych drzewostanów z udziałem głównych gatunków lasotwórczych. Podczas badań zaobserwowaliśmy typowe objawy porażenia drzew bakteriozą (obrzęk bakteryjny), grzybicą (choroba wrzodowo-nowotworowa, martwica), a także zespołem makromycetów afyloforoidalnych, w szczególności podstawczaków ksylotroficznych (*Heterobasidion annosum*, *Phellinus hartigii*, *Fomitopsis pinicola*, *Armillaria mellea*, *Fomes fomentarius* itp.). Wyniki takich badań mogą mieć ogromne znaczenie dla przyjęcia skutecznych działań w zakresie gospodarki leśnej, ustalenia priorytetów w walce z chorobami i szkodnikami, a także opracowania strategii adaptacji do zmian w środowisku. Uwzględnianie stanu sanitarnego lasów staje się kluczowym czynnikiem w opracowywaniu naukowych i praktycznych rozwiązań zapewniających trwałość i produktywność ekosystemów leśnych.

SUMMARY

The productivity and resistance of forests are directly influenced by various biotic and abiotic environmental factors. Among the biotic factors, the causative agents of infectious diseases are particularly significant in affecting the stability of forest ecosystems.

A detailed study of the modern sanitary condition of the forests of the Pokut-Bukovynian Carpathians is essential to assess the health of these ecosystems and identify the root causes of tree weakening and threats to their stability and functioning. The health of forests is critical for maintaining ecological balance and a high level of biodiversity, participation in the carbon cycle, and the ability to self-reproduce. Modern environmental challenges, such as climate change, anthropogenic pressure, pest attacks and infectious diseases, necessitate research to determine the degree of vulnerability of forests and study possible strategies for their preservation and restoration. This study aims to assess the current sanitary condition of the forests of the Pokut-Bukovynian Carpathians and to identify the factors that most significantly affect the weakening and degradation of *Picea abies*, *Abies alba*, and *Fagus sylvatica* populations. The research employed classical phytopathological and forestry inventory methods, as well as specialized mycological and microbiological techniques. The general sanitary condition of the forests of the Pokut-Bukovynian Carpathians is considered weakened. There is a slow but steady increase in the area of disturbed and dieback stands involving the main forest-forming species. Examinations revealed typical symptoms of tree infection with bacteriosis (bacterial wetwood), mycosis (ulcer-tumorous disease), as well as a complex of aphylophoroid macromycetes, in particular xylotrophic basidiomycetes (*Heterobasidion annosum*, *Phellinus hartigii*, *Fomitopsis pinicola*, *Armillaria mellea*, *Fomes fomentarius*, etc.). The results of this research are crucial for adopting effective forest management measures, prioritizing the fight against diseases and pests and developing strategies for adapting to environmental changes. Considering the sanitary state of forests is a key factor in the development of scientific and practical solutions to ensure the sustainability and productivity of forest ecosystems.