

Grigorij T. KRYNYTSKY, Volodimar K. ZAIKA  
Український державний університет лісового та технологічного  
Українian State University of Forestry and Wood Technology  
Gen.Tchuprynka str. 103; 79057 Lviv, Ukraine  
E-mail krynytsk@forest.lviv.ua

## **FOTOSYNTeza SOSNY ZWYCZAJNEJ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) NA TERENACH PROMIENIOTWÓRCZO SKAŻONYCH**

PHOTOSYNTHESIS OF SCOTCH PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)  
ON RADIATION POLLUTED TERRITORIES

ФОТОСИНТЕЗ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)  
НА РАДІАЦІЙНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ

**Abstract:** *The photosynthetic intensity at middle-aged tree forest cultures and half-sib progenies of Scotch pine trees, which grow on radiation polluted territories has been studied. The reduction of CO<sub>2</sub> assimilation at radiation affected mother stands and Scotch pine cultures on 17.5–58.6% was identified. One-year-old progenies of irradiated trees are characterized by increased photosynthetic activity.*

**Key words:** *irradiation, photosynthesis, half-sibs posterity, Pinus sylvestris.*

## WSTĘP

Promieniowanie jonizujące jest jednym z ważnych czynników ekologicznych, wpływającym bezpośrednio lub pośrednio na struktury komórki biorące udział w fotosyntezie i na metaboliczne procesy biosyntezy. Szczególny wpływ na rośliny drzewiaste rosnące w terenach radioaktywnych mają radionuklidy wbudowane w tkankach roślin. Oddziałują one na rośliny w znacznie większym stopniu niż napromieniowanie zewnętrzne. Radionuklidy wchłaniane przez rośliny ze środowiska akumulują się w wielkich ilościach w różnych organach i włączają do przemiany metabolicznej.

Fotosynteza jest u roślin jednym z procesów fizjologicznych najbardziej odpornych na radiację [VASILEV 1962, KUZIN i in. 1958]. Na przykład przy napromieniowaniu tytoniu (*Nicotiana* L.) i trzykrotki (*Tradescantia* sp.) dawkami 200–300 Gy intensywność procesu fotosyntezy u tych roślin nie zmniejszyła się [KUZIN i in. 1958]. Zbliżone rezultaty uzyskał VASILEV [1962] w badaniach wpływu promieniowania przenikliwego na organy wegetacyjne pszenicy. Szereg prac poświęcono wpływowi radiacji przenikliwej na intensywność fotosyntezy roślin drzewiastych [PONOMARJOVA 1979; PONOMARJOVA i KARABAN' 1980; SPIRIN i in. 1981; 1985; CHEJN i in. 1984]. SPIRIN i in. [1981] badali wpływ ostrego wiosennego promieniowania  $\gamma$  na aparat asymilacyjny sosny zwyczajnej w zależności od wchłoniętych dawek od 1,0–2,5 do 100–236 Gy. Zmniejszenie intensywności fotosyntezy o 50% zauważono u sosen, które otrzymały 25 Gy promieniowania jonizującego. U drzew, które otrzymały maksymalne dawki promieniowania, intensywność fotosyntezy była o 30% niższa od fotosyntezy drzew kontrolnych. U brzozy zauważalne zmniejszenie intensywności fotosyntezy obserwuje się tylko przy napromieniowaniu powyżej 100 Gy [SPIRIN i in. 1985].

Na funkcjonowanie organów fotosyntezy ujemnie wpływa nie tylko bezpośrednio uszkodzenie ich struktury przez napromieniowanie przenikliwe, ale także zamieranie mechanizmów wykorzystania produktów fotosyntezy. LADANOVA (1992) wskazuje na zwiększenie zawartości skrobii w chloroplastach różnowiekowych igieł jodły pod wpływem radiacji.

## OBIEKTY I METODYKA BADAŃ

Obiektami badań były drzewostany sosny zwyczajnej uszkodzone w wyniku radiacji, ich potomstwo z wolnego zapylenia wyprodukowane z nasion zebranych w 1995 r. oraz uprawy leśne. Badane drzewostany sosnowe znajdują się w strefie izolacyjnej wokół Czarnobyla i rosną w jednakowych warunkach siedliskowych.

Dla określenia skażenia igły z drzew modelowych były suszone w temperaturze 105°C do stanu absolutnie suchego oraz rozdrobnione w młynkach laborato-

ryjnych. Gamma-spektrometria była przeprowadzona na analizatorze ORTEC z detektorem Li-Ge.

Efektywność fotosyntezy igliwia ustalono metodą radiometryczną [VOZNESENSKIJ i in. 1962]. Na powierzchniach doświadczalnych wybierano po 5–7 drzew modelowych. Z każdego drzewa pobrano po kilka igieł, które wstawiono do kamer wchłaniających. Próbki ekspozowano w ciągu 10 min. w strumieniu 1%  $^{14}\text{CO}_2$ , potem utrwalano etanolem o stężeniu 96%, suszono, rozcierano na proszek. Sproszkowane próbki zalano cieczą scyntylicyjną przygotowaną metodą CHEJNA i in. [1984] i wyznaczono ich radioaktywność licznikiem Racbeta. Otrzymane wyniki badań opracowano metodami analizy statystycznej [LAKIN 1980].

## WYNIKI I DYSKUSJA

W czasie awarii elektrowni atomowej (1986 r.) badane drzewostany sosnowe otrzymały dawki promieniowania radiacyjnego od 1–2 Gy (dawka słaba) do 11–20 Gy (dawka subletalna) (tab. 1). Po awarii skażenie gleb cezem wynosiło 4607–19588 kBq/m<sup>2</sup>, toteż drzewa rosnące na tym terenie nadal doznają znacznego napromieniowania wewnętrznego, uwarunkowanego obecnością radionuklidów wewnątrz tkanek. W badanych wariantach radioaktywność jednorocznych igieł dla cezu wynosi 32,2–181,1 kBq/kg, co przewyższa 4–25 razy promieniowanie w wariancie kontrolnym.

**Tabela 1**  
Table 1

**Radioaktywność igieł sosny o różnym stopniu napromieniowania  $^{134*137}\text{Cs}$**   
Induced radioactivity of needles which absorbed different radiation dose  $^{134*137}\text{Cs}$

Dawka pochłonięta Radiation dose absorbed by pine [Gy]	Skażenie gleby Soil contamination $^{137}\text{Cs}$ [kBq/m <sup>2</sup> ]	Radioaktywność igieł* [kBq/kg suchej masy] Induced radioactivity of needles* [kBq/kg dry matter]
<b>Kontrola</b> Control	185	<u>7,9±0,5</u> 3,6±0,2
<b>Słaba</b> Low (1–2)	4607	<u>159,2±18,5</u> 65,8±7,3
<b>Średnia</b> Middle (6–10)	11733	<u>186,1±22,1</u> 90,1±11,0
<b>Silna</b> High (11–20)	19588	<u>32,2±4,3</u> 14,1±1,4

\*W liczniku dla igliwia jednorocznego, w mianowniku – dwuletniego.

\* At numerator for one-year-old needles, at denominator for two-year-old needles

Tabela 2

Table 2

**Charakterystyka upraw leśnych sosny**  
Characteristic of plantations of Scots pine

Stopień skażenia radiacyjnego Level of contamination	Średnia wysokość Mean height [cm]	Średnia grubość w szyi korzeniowej Mean diameter above ground [mm]	Przyrost wysokości Height increase [cm]	Radioaktywność igliwia Radioactivity of needles of needles [kBq/kg <sup>137</sup> Cs]
<b>Kontrola</b> Control	637±8	102±4	58±3	–
<b>Słaby</b> Low	410±8	126±4	56±2	5,4
<b>Średni (bez zmian morfologicznych)</b> Middle (without morphologic changes)	334±5	72,1±3	27±2	399,0
<b>Silny (ze zmianami morfologicznymi)</b> High (with morphologic changes)	245±10	94±4	25±2	2869,0

Tabela 3

Table 3

**Charakterystyka drzew modelowych na transekcje radiologicznym**  
Characteristic of model trees at radius of contamination

Nr drzewa Tree no	Wysokość Height [cm]	Grubość szyi korzeniowej Diameter above ground [mm]	Dawka ekspozycyjna pod koronami drzew Dose of radioactivity under crown [mR]	Radioaktywność igiel Radioactivity of needles [kBq/kg <sup>137</sup> Cs]
1	195±4	93±5	2,6	1189
2	176±16	83±8	2,7	7455
4	241±18	78±3	1,2	2795
5	157±16	91±10	2,5	7824
6	208±9	72±6	1,5	3528
7	277±17	99±3	1,0	1094
8	356±21	104±15	0,5	399
9	221±2	105±4	1,5	3307
10	194±9	90±3	1,5	1429
12	229±7	108±7	2,0	3559
13	277±2	90±11	0,5	870
14	304±12	95±5	1,0	951
15	302±15	110±11	1,5	1566
16	178±13	97±4	3,0	3449
17	297±14	99±4	2,0	136
18	269±14	110±8	3,8	5086

Doświadczalne uprawy leśne sosny zostały założone w latach 1988–89 na powierzchniach o różnym natężeniu skażenia promieniotwórczego. W warunkach największego skażenia (tzw. rudy las) założono trzy powierzchnie doświadczalne (tab. 2):

- uprawy leśne sosny na powierzchniach o słabym stopniu skażenia;
- uprawy leśne sosny na powierzchniach o średnim stopniu skażenia;
- uprawy leśne sosny w miejscach tymczasowej lokalizacji odpadów promieniotwórczych (silny stopień skażenia).

Transekt radiologiczny o długości 280 m został założony w uprawach leśnych sosny, w których kolejno występują działki z odpadami radioaktywnymi i działki, na których wykonano dezaktywację. Zmienność skażenia pod koronami drzew wahała się od 0,5 do 3,8 mR/godz. (tab. 3). Na transekcie wyznaczono 18 punktów, na 16 z nich wybrano po trzy sosny o zbliżonych parametrach wzrostu i stanie zdrowotnym.

Radioaktywność igliwia wahała się od 136 do 7824 kBq/kg  $^{137}\text{Cs}$  suchej masy. Wysokość drzew wynosiła 157–356 cm, a grubość szyi korzeniowej 72–110 mm. Stan zdrowotny większości drzew był niezadowolający. Drzewa kontrolne nie były skażone radiacyjnie (tab. 3).

Potomstwo z wolnego zapylenia (znany genotyp matki) drzew modelowych sosny o słabym, średnim i silnym stopniu skażenia, a także drzew nieskażonych (kontrolnych) rosło w terenie skażonym promieniotwórczo (14312 kBq/m<sup>2</sup> dla  $^{137}\text{Cs}$ ) oraz w terenie wolnym od radionuklidów, w województwie łwowskim.

Promieniowanie powoduje powstanie w roślinach różnych zmian, które ujawniają się w trakcie morfogenezy organów wchłaniających i ujemnie wpływają na komponenty procesu fotosyntezy.

Największe wskaźniki intensywności fotosyntezy uzyskano w drzewostanach na działkach kontrolnych – 43,5 mg CO<sub>2</sub>/g×godz. (tab. 4). Drzewostany o niskim i średnim stopniu skażenia promieniotwórczego wchłaniają w ciągu dnia średnio 34,1–35,9 mg CO<sub>2</sub>/g×godz., co stanowi absorpcję mniej intensywną o 17,5–21,6% niż w drzewostanie kontrolnym, natomiast w drzewostanach skażonych w stopniu silnym wskaźnik ten był najniższy i wynosił 18,0 mg CO<sub>2</sub>/g×godz., co stanowi około 41% absorpcji w stosunku do kontroli (przy  $t_f = 4,97$  i  $t_{05} = 2,12$ ). Zmienność wskaźników fotosyntezy w ciągu dnia okazała się duża i wynosiła 68,6–83,5%.

Dużą intensywność fotosyntezy i największe odchylenie między wariantami stwierdzono w godzinach porannych – 8:00–11:00 (ryc. 1). W środku dnia (12:00–14:00) obserwuje się ostry spadek intensywności fotosyntezy. Drugie maksimum fotosyntezy następuje około 16:00.

Przy zwiększeniu dawki pochłoniętego promieniowania spada intensywność fotosyntezy sosen rosnących na skażonym obszarze. Najbardziej intensywnym spadkiem charakteryzują się drzewa osłabione, które otrzymały subletalną dawkę promieniowania.

Fotosynteza jest skorelowana z innymi procesami życiowymi w organizmach roślin. W ciągu ostatnich 5–7 lat stwierdzono znaczne osłabienie stanu zdrowot-

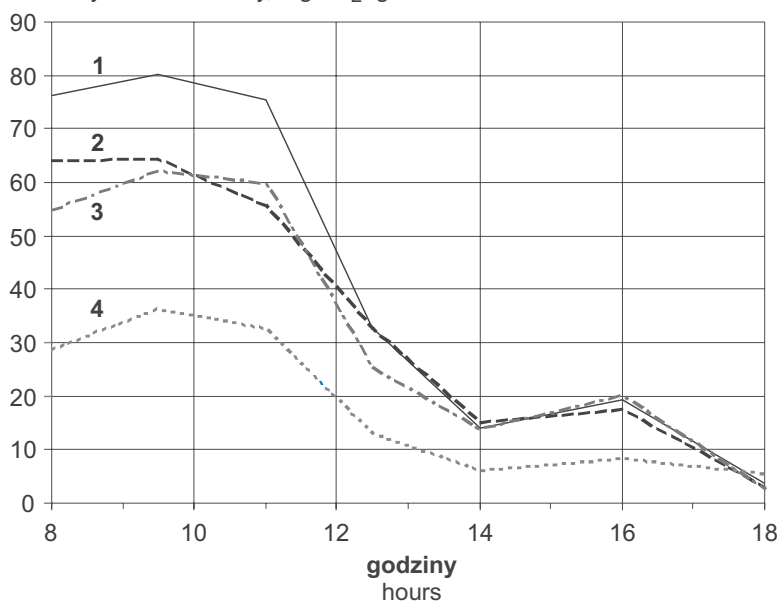
Tabela 4

Table 4

**Intensywność fotosyntezy drzewostanów sosny o różnym stopniu skażenia promieniotwórczego**  
**Intensity of photosynthesis of Scots pine stands at different level of contamination**

Stopień skażenia Level of contamination	Intensywność fotosyntezy Intensity of photosynthesis		$t_f$	V [%]
	Gy	mg CO <sub>2</sub> /g·godz. %		
<b>Kontrola</b> Control		43,5±4,9 100,0	0,00	73,1
<b>Słaby</b> Low (1–2)		35,9±3,8 82,5	1,23	68,7
<b>Średni</b> Middle (6–10)		34,1±3,6 78,4	1,55	68,6
<b>Silny</b> High (11–20)		18,0±2,3 41,4	4,97	83,5

**Intensywność fotosyntezy, mg CO<sub>2</sub>/g×godz.**  
**Photosynthetic intensity, mg CO<sub>2</sub> /g×h**



**Rys. 1. Dzienna dynamika intensywności fotosyntezy u sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w zależności od stopnia skażenia promieniotwórczego drzew: 1 – kontrola; 2 – słaby stopień skażenia (1–2 Gy); 3 – średni (6–10 Gy); 4 – silny (11–20 Gy)**

Fig. 1. Diurnal dynamics of photosynthetic intensity of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) depending on level of <sup>137</sup>Cs 14312 [kBq/m<sup>2</sup>]: 1 – control; 2 – low radiation (1–2 Gy); 3 – middle radiation (6–10 Gy); 4 – high radiation (11–20 Gy)

nego silnie napromieniowanych drzewostanów. Jeszcze w roku 1993 drzewa na terenach skażonych produkowały o 12–52 % więcej zielonych i żółtych barwników fotosyntetycznych, a w roku 2000 już o 12–56 % mniej niż drzewostany słabo i średnio uszkodzone. Drzewostany napromieniowane dawką subletalną wytwarzały w ostatnich latach igły krótkie, o zabarwieniu przeważnie żółtozielonym, i miały mniejszy przyrost długości pędów.

Skażenie radiacyjne wywołuje nie tylko efekty somatyczne, które ujawniają się w organizmach roślinnych w trakcie ontogenezy, ale również wpływa na strukturę genomu, skład genetyczny itp., co powoduje pojawienie się pewnych zmian w funkcjonowaniu potomstwa. Zaburzenia procesów wzrostu u potomstwa, które wyrosło z napromieniowanych nasion, można dostrzec w wieku od 1–2 do 10 lat [KUDINOV 1986, PRIVALOV 1974]. Według KUDINOVA [1986] fotosynteza u dwuletnich siewek jesionu wyrosłych z nasion napromieniowanych była 13–16 razy większa niż u siewek kontrolnych, natomiast u roślin siedmioletnich już tylko o 30–41%.

Badania intensywności fotosyntezy zostały wykonane na czteromiesięcznych siewkach sosny wyhodowanych z nasion zebranych z drzew o różnym stopniu skażenia radiacyjnego, rosnących w warunkach trwałego napromieniowania. Intensywność fotosyntezy u potomstwa drzew radiacyjnie skażonych była o 12–21% większa niż w wariacie kontrolnym. Największą intensywnością fotosyntezy charakteryzowało się potomstwo drzew słabo i średnio napromieniowanych, ale o najwyższej radioaktywności igieł dla cezu [KRYNYTSKY i in. 2000].

Dzienna dynamika intensywności fotosyntezy siewek koreluje ze zmianami wskaźników mikroklimatycznych, zwłaszcza temperatury i oświetlenia, odznaczając się wyraźnie zauważalnym, charakterystycznym dla drugiej połowy okresu wegetacyjnego, szczytem intensywności fotosyntezy, który następuje w godzinach 11:00–13:00. W tym czasie różnice pomiędzy intensywnością fotosyntezy u roślin skażonych i kontrolnych są największe i sięgają 27–52%. Rano, do godziny 10:00 oraz w drugiej połowie dnia (po 14:00–15:00) są one minimalne [KRYNYTSKY i in. 2000].

Wyniki badań intensywności fotosyntezy trzyletniego potomstwa z wolnego zapylenia sosny rosnącej w terenie skażonym radiacyjnie świadczą o istnieniu znacznego wpływu napromieniowania chronicznego na fotosyntezę (tab. 5). Potomstwo drzew, które zostały napromieniowane w stopniu średnim lub silnym, odznacza się wysoką intensywnością fotosyntezy, a przy średniej intensywności skażenia – osłabieniem fotosyntezy w porównaniu do drzewostanów matecznych (tab. 4). Potomstwo drzew skażonych rosnące w terenie wolnym od radionuklidów fotosyntetyzuje bardziej intensywnie niż kontrolne.

Stwierdzono także znaczną zmienność indywidualną intensywności fotosyntezy u badanego potomstwa. Najmniejszą zmienność charakteryzowała się grupa upraw kontrolnych.

Indywidualność reakcji roślin na napromieniowanie zależy od dwóch czynników – skażenia radiacyjnego i zdolności organizmów roślinnych do odnowienia

Tabela 5

Table 5

**Intensywność fotosyntezy jednorocznego igliwia 3–5-letniego potomstwa półrodów sosny zwyczajnej**

Intensity of photosynthesis of one-year-old needles of 3–5-year-old half-sib progenies of Scots pine

Stopień skażenia drzew matecznych Level of contamination of ancestor trees	Intensywność fotosyntezy Intensity of photosynthesis	
	Gy	mg CO <sub>2</sub> /g such. masy×godz.
<b>Strefa izolacyjna (skażenie gleby <sup>137</sup>Cs 14312 [kBq/m<sup>2</sup>])</b> Insulating zone (contamination of soil by <sup>137</sup> Cs 14312 [kBq/m <sup>2</sup> ])		
<b>Kontrola</b> Control	123,8±5,9	100,0
<b>Słaby</b> Low (1–2)	140,0±6,6	113,1
<b>Średni</b> Middle (6–10)	117,1±6,3	94,6
<b>Silny</b> High (11–20)	130,1±5,9	105,1
<b>Teren nieskażony (woj. lwowskie)</b> Non-contaminated zone (region of Lvov)		
<b>Kontrola</b> Control	65,4±7,4	100,0
<b>Słaby</b> Low (1–2)	69,5±7,7	106,3
<b>Średni</b> Middle (6–10)	65,9±7,4	100,8
<b>Silny</b> High (11–20)	67,0±7,4	102,4

struktur uszkodzonych przez promieniowanie. Długotrwałe napromieniowanie wywołuje mobilizację potencjału życiowego drzew w celu przeżycia i podtrzymania homeostazy, przeciwdziałania wpływowi szkodliwych bodźców zewnętrznych. W normalnych warunkach środowiskowych potencjał ten nie uwidacznia się.

Funkcjonowanie organów asymilacyjnych, a zwłaszcza chloroplastów, jest ściśle powiązane z intensywnością przebiegu fizjologicznych procesów w innych organach i tkankach roślin. Uszkodzenie najmniej odpornych na radiację tkanek roślin dawkami promieniowania, które nie mają szczególnego znaczenia dla procesów fotosyntezy, może powodować istotne zmiany aktywności fotosyntetycznej. Na przykład, napromieniowanie tkanek merystematycznych dawkami letalnymi powoduje po pewnym czasie osłabienie fotosyntezy i w następstwie tego – zmniejszenie aktywności chloroplastów, natomiast napromieniowanie roślin małymi dawkami może spowodować intensyfikację aktywności fotosyntetycznej jako mechanizmu kompensacyjnego, skierowanego na naprawę uszkodzonych struktur w roślinach.

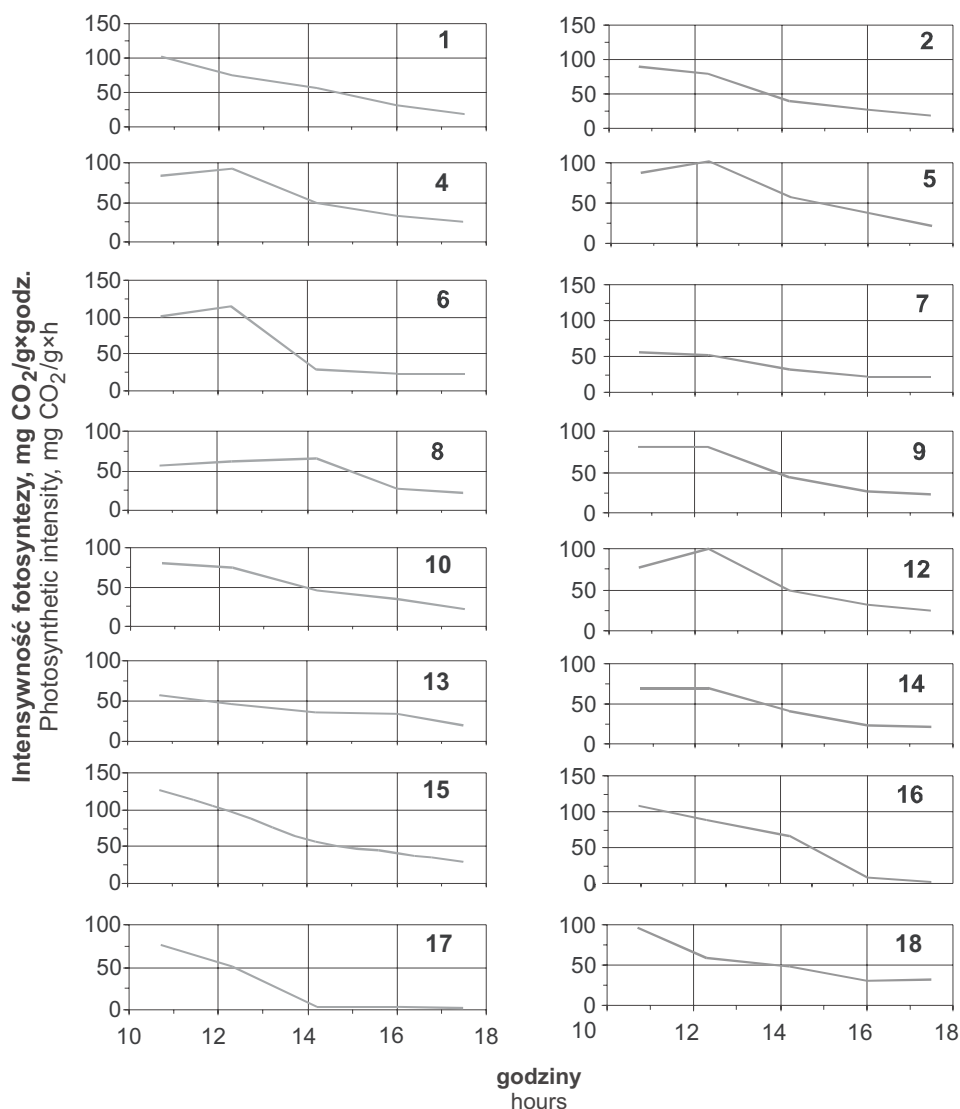
Badania drzew modelowych rosnących na transekcje radiologicznym wykazują, że pod względem dziennej dynamiki intensywności fotosyntezy można je podzielić na trzy grupy (ryc. 2):

– drzewa z nieznacznym wzrostem intensywności fotosyntezy w pierwszej połowie dnia i spadkiem w drugiej (modele 4, 5, 6, 8, 12);



- drzewa ze spadkiem intensywności fotosyntezy w ciągu dnia (modele 1, 2, 10, 13, 15, 16, 17, 18);
- drzewa ze stałą fotosyntezą w pierwszej połowie dnia i spadkiem w drugiej (modele 7, 9, 14).

Drzewa kwalifikujące się do grupy pierwszej i trzeciej mają najwyższą intensywność w pierwszej połowie dnia, do grupy drugiej – tylko z samego rana. Pod



**Ryc. 2. Dzienna dynamika intensywności fotosyntezy drzew modelowych na transekcje radiologicznej, określona 18.08.1998 r. (numerem oznaczono drzewa modelowe)**

Fig. 2. Diurnal dynamics of photosynthetic intensity of model trees at radius of contamination determined on 18.08.1998 (numbers on figure design model trees)

koniec dnia (około godz. 18:00) intensywność fotosyntezy spada u drzew we wszystkich trzech grupach.

Specyficzna jest reakcja fotosyntetyczna drzew na dobowe zmiany warunków mikroklimatycznych. W większości przypadków pomiędzy intensywnością fotosyntezy a temperaturą powietrza stwierdzono ujemną zależność korelacyjną ( $r = -0,246 \div 0,914$ ), natomiast pomiędzy intensywnością fotosyntezy a wilgotnością powietrza – dodatnią ( $0,277 \div 0,946$ ) (tab. 6). Największą korelację stwierdzono między intensywnością fotosyntezy i intensywnością światła – ( $0,729 \div 0,949$ ). Wyniki badań intensywności fotosyntezy w uprawach leśnych sosny przedstawiono w tabeli 7 i na rycinie 3.

Uprawy leśne sosny w wariancie kontrolnym w różnych porach wegetacji pochłaniają znacznie więcej  $\text{CO}_2$  niż uprawy skażone radiacyjnie ( $t_r = 5,05 - 8,70$  przy  $t_{05} = 2,26$ ). Między stopniem uszkodzenia radiacyjnego i intensywnością pochłaniania  $\text{CO}_2$  w różnych okresach wegetacji przeważnie mają miejsce odwrotne zależności (tab. 7).

Tabela 6

Table 6

**Średnie dobowe wskaźniki intensywności fotosyntezy drzew na transekcje radiologicznym i współczynniki korelacji fotosyntezy z czynnikami mikroklimatycznymi**

Mean diurnal indexes of photosynthetic intensity and correlation of photosynthesis and climatic factors

Nr drzewa No of tree	Intensywność fotosyntezy Instensity of photosynthesis [mg $\text{CO}_2/\text{g} \times \text{godz.}$ ]	Współczynnik korelacji Index of correlation		
		temperatura powietrza air temperature	wilgotność powie- trza air humidity	intensywność światła intensity of sunlight
1	2	3	4	5
1	56,1	-0,763	0,805	0,870
2	50,7	-0,725	0,835	0,877
4	56,8	-0,545	0,702	0,933
5	60,7	-0,478	0,632	0,949
6	58,5	-0,605	0,783	0,842
7	37,1	-0,712	0,820	0,903
8	46,5	-0,246	0,277	0,936
9	51,0	-0,629	0,759	0,931
10	51,4	-0,672	0,785	0,893
12	56,5	-0,436	0,614	0,942
13	39,0	-0,701	0,764	0,796
14	45,5	-0,630	0,750	0,943
15	70,2	-0,793	0,874	0,837
16	54,6	-0,640	0,692	0,950
17	26,8	-0,847	0,946	0,734
18	53,4	-0,914	0,910	0,729

Tabela 7  
Table 7**Intensywność fotosyntezy jednorocznego igliwia sosny rosnącej na uprawach**  
Intensity of photosynthesis of one-year-old needles of Scots pine in plantation

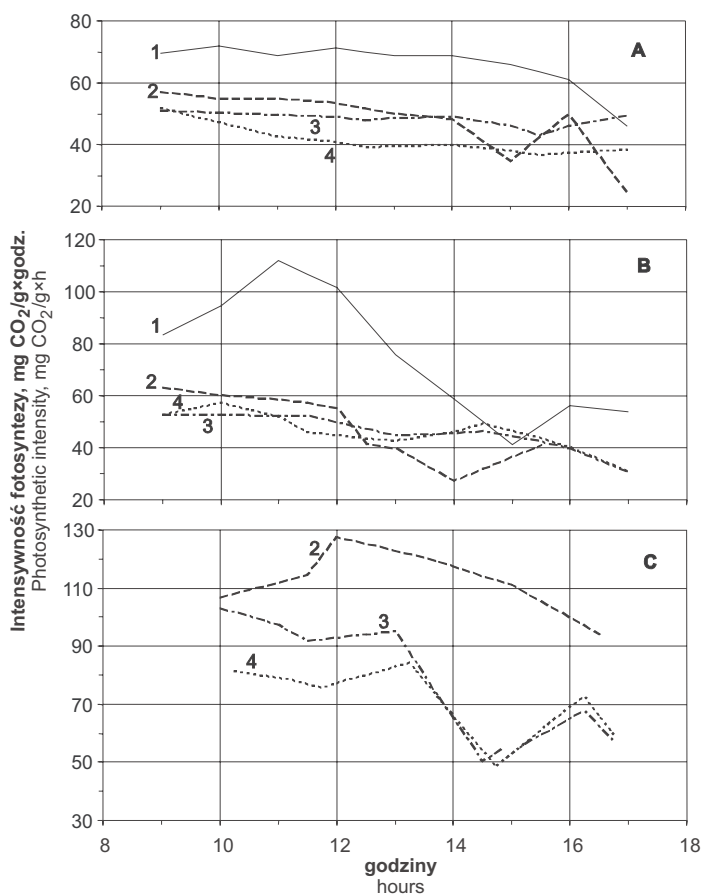
Stopień skażenia Level of contamination	Intensywność fotosyntezy Intensity of photosynthesis		
	mg CO <sub>2</sub> /g×h	%	t <sub>i</sub> *
21–23.05.1999			
<b>Kontrola</b> Control	64,7±2,0	100,0	0,00
<b>Słaby</b> Low	46,7±1,6	72,2	7,03
<b>Średni</b> Middle	42,0±2,1	64,9	7,83
<b>Silny</b> High	48,3±1,7	74,7	6,25
02–05.08.1999			
<b>Kontrola</b> Control	75,2±3,9	100,0	0,00
<b>Słaby</b> Low	49,4±2,0	65,7	5,89
<b>Średni</b> Middle	44,1±2,1	58,6	7,02
<b>Silny</b> High	43,5±2,4	57,8	6,92
19–20.09.98 r.			
<b>Słaby</b> Low	111,0±2,6	100,0	0,00
<b>Średni</b> Middle	73,8±6,9	66,5	5,05
<b>Silny</b> High	65,8±4,5	59,3	8,70

\* Teoretyczne znaczenie kryterium testu Studenta (t<sub>05</sub>) równa się 2,26Theoretical significance of Student's test (t<sub>05</sub>) is 2,26.

Dzienny rytm aktywności fotosyntetycznej zależy od wielkości skażenia radiacyjnego i od okresu wegetacyjnego. Na początku okresu wegetacji krzywa dziennej dynamiki intensywności fotosyntezy ma dość wyrównany kształt w porównaniu ze środkiem i końcem wegetacji (ryc. 3). W tym czasie w wariancie kontrolnym ustalono niewielkie zwiększenie intensywności pochłaniania CO<sub>2</sub> w pierwszej połowie dnia (do godz. 12:00), a następnie zmniejszenie w drugiej połowie. W ciągu dnia fotosynteza na powierzchniach skażonych miała tendencję do obniżenia i/lub do nieznacznego wzrostu pod koniec dnia (ryc. 3A).

W środku okresu wegetacji fotosynteza drzew kontrolnych miała dwa wyraźne ekstrema: wysokie o godz. 11:00 i niskie o godz. 16:00 (ryc. 3 B). Uszkodzone sosny charakteryzowały się nieznacznym wzrostem fotosyntezy przed godziną 9:00–10:00, następnie zmniejszeniem do godziny 13:00–14:00 i niewielkim wzrostem między godz. 14:00–15:00.

Pod koniec okresu wegetacyjnego kształt krzywej dynamiki fotosyntezy upraw skażonych w stopniu słabym i kontroli był podobny: intensywność fotosyntezy rosła, osiągając maksymalną wielkość w środku dnia, a następnie w drugiej jego połowie – spadała. Dynamika fotosyntezy upraw skażonych średnio i silnie odznaczała się spadkiem do godziny 11:30, nieznacznym wzrostem w godzinach



**Ryc. 3. Dzienna dynamika intensywności fotosyntezy sosny zwyczajnej w uprawach: 1 – kontrola; 2 – słaby stopień skażenia radiacyjnego; 3 – średni stopień skażenia radiacyjnego (uprawy bez morfoz); 4 – silny stopień skażenia radiacyjnego (uprawy z morfozami); A – początek okresu wegetacji; B – środek; C – koniec**

Fig. 3. Diurnal dynamics of photosynthetic intensity in Scots pine plantations: 1 – control; 2 – low contamination; 3 – middle contamination (trees without morphologic changes); 4 – high contamination (trees in plantations with morphologic changes); A – beginning of vegetation period, B – middle, C – end.

południowych, nagłym obniżeniem przed godz. 14:00, podwyższeniem koło godziny 16:00, a następnie spadkiem aż do końca dnia (ryc. 3B).

## WNIOSKI

1. Duże dawki napromieniowania przenikliwego ujemnie wpływają na rośliny drzewiaste. Powodują one zmiany w dynamice i intensywności procesów metabolicznych. U drzew radiacyjnie uszkodzonych i ich potomstwa w uprawach leśnych stwierdzono zmniejszenie intensywności fotosyntezy o 17,5–57,6%. Potomstwo drzew uszkodzonych odznacza się aktywnością fotosyntezy podwyższoną o 12–21%.

2. Intensywność fotosyntezy drzew można wykorzystać przy wyborze form gatunków drzewiastych odpornych na radiację. Wśród radiacyjnie uszkodzonych maceznych drzew sosny i ich potomstwa można wyodrębnić drzewa o wysokiej intensywności fotosyntezy. Mogą one być podstawą selekcji form odpornych na radiację.

Praca została złożona 15.02.2003 i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 25.06.2003

## PHOTOSYNTHESIS OF SCOTCH PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ON RADIATION POLLUTED TERRITORIES

### Summary

Our study investigated the intensity of photosynthesis in middle-aged trees of *Pinus sylvestris* L. which have swallowed up from 1–2 till 11–20 Gy radiation during the failure on the Chernobyl Power Nuclear Station, as well as their half-sibs progenies and the cultures of Scots pine created in 1988–1989 on the territories polluted with radiation. The reduction of 17,5–58,6 % in the intensity of photosynthesis in the investigated variants of a pine has been revealed. In four-month-old half-sibs progenies of the irradiated trees the intensity of photosynthesis is 12–21% higher than the control. After reaching the age of 3–5, their parameters coincide with the control. Rather high intensity of CO<sub>2</sub> assimilation remains at the posterities of the trees of a pine of low radiation.

The CO<sub>2</sub> assimilation in plantations of *Pinus sylvestris* L. at high level of contamination makes 57,8–74,7 % of a control variant in the different periods of vegetative development. The investigated plantations differ from the control by the character of day-time dynamics of photosynthesis.

The individual reaction of a pine to an irradiation has been found which is shown in features of CO<sub>2</sub> assimilation by trees during the day and which causes a degree of irradiation of structures. The index of correlation of photosynthesis with microclimatic parameters in irradiated trees of a pine in the afternoon usually average both close, and the highest with intensity of light 0,729–0,949.

## ФОТОСИНТЕЗ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) НА РАДІАЦІЙНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Досліджено інтенсивність фотосинтезу у середньовікових дерев сосни звичайної, які в період аварії на Чорнобильській АЕС поглинули від 1–2 до 11–20 Гр радіаційного опромінення, їх півсїбсових потомств і культур сосни створених в 1988–1989 роках на радіаційно забруднених територіях. Виявлено зниження інтенсивності фотосинтезу в дослідних варіантів сосни на 17,5–58,6%. Чотиримісячні півсїбсові потомства опромінених дерев характеризуються на 12–21% вищою інтенсивністю фотосинтезу від контролю. При досягненні ними 3–5 річного віку відмінності з контролем згладжуються. Відносно висока інтенсивність асиміляції CO<sub>2</sub> залишається у потомств дерев сосни слабкого радіаційного ураження. В радіаційно уражених культур сосни звичайної асиміляція CO<sub>2</sub> у різні періоди вегетаційного розвитку становила 57,8–74,7% від контрольного варіанту.

Встановлено індивідуальний характер в реакції сосни на радіаційне опромінення, який проявляється у особливостях асиміляції CO<sub>2</sub> деревами протягом дня і зумовлений ступенем радіаційного ураження та здатністю рослинного організму до відновлення уражених структур. Зв'язок фотосинтезу з мікрокліматичними показниками у радіаційно уражених дерев в денному аспекті є, як правило, середнім і тісним. Найбільш високим він виявився з інтенсивністю світла  $0,729 \pm 0,949$ .

## LITERATURA

- CHEJN Ch.Ja., CELNIKER Ju.M., VOZNESENSKIJ V.L. 1984: Opredelenija radjoaktivnosti rastitel'nogo materjala s pomoščju židkostnogo scintilacionnogo ščiotčika. Fiziologija rastenij, 31(2): 401–406.
- KRYNYTSKY G., ZAIKA V., DELEGAN I. 2000: Morphophysiological peculiarities of the progenies growth of irradiated trees of common pine. Folia Oecologica, 27,1–2. 81–90.
- KUDINOV M.A. 1986: Vnešnja sreda i formirovanie ustojčivosti u drevesnych rastenij. Nauka i tehnika, Minsk, ss 167.
- KUZIN A. M., SUN Czi, SAJENKO Z.N. 1958: O funkcionalnoj radiočuvstvitel'nosti chloroplastov. Biofizika, 3(3): 325–331.
- LADANOVA N.W. 1992: Ultrastrukturnaja organizacija raznovozrastnoj chvoi jeli pri radjacionnom vozdejstvii. Radiobiologija, 32(5) 640–645.
- LAKIN G.F. 1980: Biometrija. Učeb. posobie dla biologič. spec. VUZov. M: Vysš. škola, ss. 293.
- PONOMARJOVA R. P., KARABAN' R.T. 1980: Posledstvije na fotosyntetičeskij apparat beriozy. Radiobiologija, 20(6): 933–935.
- PONOMARJOVA R.P. 1979: Dejstvije ostroho gamma-oblučeniya na fotosintetičeskij apparat beriozy i sosny. Trudy IPG „Problemy lesnoj radiologii” M. Gidrometeoizdat, 38: 68–75.
- PRIVALOV H.F. 1974: Somatičeskij mutagenez u rastenij. Avtoref. diss. dokt. biol. nauk. Novosibirsk: ss. 62.
- SPIRIN D. A., ALEKSACHIN R.M., KARABAN' R.T., MIŠENKOV N. A. 1985: Radjacionnye i postradjacionnye izmeneniya v lesnom biogeocenoze pri ostrom gamma-oblučeni. Vlijanie ostroho gamma-oblučeniya na produktivnost' sosno-beriozovoho lesa. Radiobiologija, 25(1) 125–128.
- SPIRIN D.A., MIŠENKOV N.N., KARABAN' R.T., ALEKSACHIN R.M., PRISTER B.S., ROMANOV G.N. 1981: Vlijanie ostroho gamma-oblučeniya na assymiljacionnyj apparat sosno-beriozovoho drevostoja. Lesovedenie, 4: 75–82.
- VASILEV I. M. 1962: Dejstvie ionizirujuščich izlučenij na rasteniya. Izdat. AN SSSR, ss. 224.
- VOZNESENSKIJ V. M., ZELENSKIJ O. V., SEMICHATOVA O. V. 1965: Metody issledovanija fotosinteza i dychanija rastenij. M.-L.: Nauka, ss. 305.