

Radioaktywne skażenie składu pokarmu sarny europejskiej *Capreolus capreolus* na terenie Żytomierskiego Polesia Ukrainy

Radioactive contamination of dietary components of the roe deer in the forests of Zhytomirskie Polesie of Ukraine

Volodymyr Krasnov¹, Zoia Shelest², Sergii Boiko^{3*}, Igor Gulik¹, Waldemar Sieniawski³

¹Żytomierski Państwowy Technologiczny Uniwersytet, Katedra Ekologii, 10005 Żytomierz, ul. Cherniakhovskiego 103, Ukraina;

²Żytomierski Państwowy Technologiczny Uniwersytet, Katedra Nauk Przyrodniczych, 10005 Żytomierz, ul. Cherniakhovskiego 103, Ukraina; ³Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Katedra Leśnictwa i Ekologii Lasu, 10-727 Olsztyn, Pl. Łódzki 2, Polska

*Tel. +48 89 5234947, e-mail: sergii.boiko@uwm.edu.pl

Abstract. This paper presents a study on radioactive contamination of dietary components of the roe deer (*Capreolus capreolus*) in Zhytomirskie Polesie (Ukraine). Studies were conducted on two research plots in forests with similar levels of radioactive contamination, 29 ± 8 kBq/m² - 55 ± 17 kBq/m², in mixed coniferous forests and mixed broadleaved forests, which are the dominant forest types of the area. The highest level of radionuclide accumulation was observed in young oak seedlings.

The dynamics for oak sprouts indicate that the accumulation coefficient reaches a maximum in September and August in the mixed coniferous and mixed broadleaved forests respectively. A comparison of mean values of the ¹³⁷Cs accumulation coefficients in the shoots of undergrowth plants confirms that an increase in soil fertility leads to a reduction of radionuclides in plant phytomass. In the mixed broadleaved forests, average values of the coefficient of ¹³⁷Cs accumulation in phytomass of blackberry was 26% and of raspberries 58% lower compared to mixed coniferous forests. The maximum contamination of phytomass was observed in August for oak, in October for aspen, and in July for birch. The highest specific activity of ¹³⁷Cs in raspberry shoots occurs during the three summer months, whereas the peak in blackberry occurs from August to September. The dynamics of the specific activity of ¹³⁷Cs in blueberry, cranberry and heather show an increase in radioactive contamination of phytomass towards the end of the growth period. The maximum concentration of ¹³⁷Cs in shoots of heather and bilberry was recorded in October and for blueberry in August. Mushrooms in mixed coniferous forests can be ranked as follows according to the degree of ¹³⁷Cs contamination: *Cantharellus* < *Boletus edulis* < *Russula* < *Leccinum* < *Xerocomus badius* < *Paxillus involutus*. In mixed broadleaved forests the ranking is *Cantharellus* < *Boletus edulis* < *Russula* < *Xerocomus badius* < *Leccinum* < *Paxillus involutus*. Within one habitat type, we observed fairly significant variations in ¹³⁷Cs accumulation in fruit bodies of fungi species.

Keywords: radioactive contamination, roe deer diet, ¹³⁷Cs, Zhytomirskie Polesie of Ukraine

1. Wstęp

Po awarii czarnobylskiej elektrowni atomowej jednym z potencjalnych źródeł napromieniowania organizmu ludzkiego stało się mięso zwierząt pozyskiwanych w ramach odstrzałów łowieckich na terenach skażonych. Zagrożenie to dotyczy przede wszystkim myśliwych (i kłusowników) oraz odbiorców mięsa dzików i jeleniowatych, którzy w pierwszej kolejności są narażeni na zwiększenie indywidualnych skumulowanych dawek napromieniowania. Jednocześnie zwierzyzna, jako naturalny składnik ekosystemów leśnych, odgrywa ważną rolę w procesie redystrybucji radionuklidów

w czasie i przestrzeni. Z uwagi na częściową niedostępność terenu badań prezentowane badania są oryginalne i jak dotychczas niepowtórzone.

Skażenie organizmu zwierząt kopytnych przez radionuklidy odbywa się głównie poprzez konsumpcję pokarmu (Krasnov et al. 2007). Skład pokarmu sarny europejskiej zawiera rośliny drzewiaste podrostu i podszytu, krzewy i krzewinki, rośliny zielne, a także grzyby, mchy i porosty (Krasnov et al. 2007; Krasnov et al. 2015). Specyfika kumulacji radionuklidów, wyrażona zawartością cezu ¹³⁷Cs w roślinach, które są konsumowane przez zwierzęta leśne, była badana w różnych krajach.

Wpłynęło: 13.06.2014 r., zrecenzowano: 30.06.2014 r., zaakceptowano: 11.07.2014 r.

Większość badań dotyczyła kumulacji ^{137}Cs w roślinach wykorzystywanych gospodarczo, szczególnie gatunków jadalnych (np. jagody) lub leczniczych (np. pączki, korzenie, część nadziemna, kwiaty). Część badaczy skupiła uwagę na roli poszczególnych gatunków w redystrybucji radionuklidów w ekosystemach leśnych różnych krajów: Białorusi (Perevolockij 2006; Bulko et al. 2013), Rosji (Šeglov, Cvetnova 2001; Mamihin et al. 2005), Ukrainy (Shelest 2004; Krasnov et al. 2007; Šitúk i in. 2010; Krasnov et al. 2015), Szwecji (Fawaris 1995) i Finlandii (Lehto et al. 2013). Uzyskane wyniki pozwalają na uogólnienie wiedzy dotyczącej poziomu radioaktywnego skażenia roślin występujących w diecie sarny, należącej do najliczniej spotykanych roślinożerców w lasach Europy. Stwierdzono, że gatunki rodziny wrzosowatych (Ericaceae) charakteryzują się znaczną kumulacją radionuklidów (Krasnov et al. 2007). Wskaźniki przejścia ^{137}Cs do roślin z tych rodzin są większe niż w większości innych gatunków roślin naczyniowych dominujących w lasach północnej i wschodniej Europy (Fawaris 1995; Perevolockij 2006; Lehto et al. 2013). Jednocześnie badania redystrybucji radionuklidów między organami i tkankami roślin drzewiastych wykazały maksymalną zawartość ^{137}Cs w igłach, liściach i pędach bieżącego przyrostu rocznego – właśnie w tych częściach, które są konsumowane przez sarnę najchętniej (Šelest 2004). Szczególną radioekologiczną rolę odgrywają grzyby, jako pokarm zwierząt leśnych. Ich owocniki nie tylko kumulują duże ilości ^{137}Cs , ale skażona grzybnia, tworząc mykoryzy, sprzyja również pośrednio skażeniu roślin przez radionuklidy (Fawaris 1995).

Badania Krasnowa potwierdzają znaczną zmienność skażenia biomasy poszczególnych składników fitocenozy w zależności od gatunku, siedliska, fenologicznej fazy rozwoju (Krasnov et al. 2007; Krasnov et al. 2015). Rośliny i grzyby najczęściej analizowane są nie jako pokarm zwierząt, a jako składniki ekosystemów leśnych. Takie podejście uniemożliwia ocenę wpływu poszczególnych składników pokarmu na sezonowe zmiany poziomu kumulacji ^{137}Cs w organizmie zwierząt.

Sarna europejska *Capreolus capreolus* (L.) jest jednym z najczęściej występujących gatunków zwierząt w lasach Centralnego Polesia Ukrainy (Krasnov et al. 2007). Należy do grupy przeżuwaczy, a jej strefa pokarmowa obejmuje zasięg do 150 cm od powierzchni gleby (Prostakov 1989; Sokolov 1992), co jest związane z wymiarami zwierząt. Najbardziej intensywnie zjadane są przez sarnę młode części roślin – średnica pędów wynosi zwykle 2–4 mm, maksymalnie do 6 mm (Drożdż, Osiecki 1973; Sokolov 1992). Ze względu na swoistą budowę aparatu żębowego, sarny praktycznie nie są zdolne do spalowania drzew (Prostakov 1989). Specyfika żywienia sarny europejskiej determinuje zatem metodykę badania kumulacji ^{137}Cs w komponentach jej pokarmu.

Celem pracy było ustalenie sezonowych zmian intensywności przejścia radionuklidów z gleby do roślin konsumowanych przez sarnę.

2. Metodyka badań

Badanie sezonowej dynamiki radioaktywnego skażenia składników pokarmu sarny europejskiej przeprowadzono na

dwóch stacjonarnych powierzchniach badawczych, założonych w lasach Centralnego Polesia Ukrainy, w typowych dla sarny warunkach bytowania. Powierzchnia oznaczona nr 1 znajdowała się na północnym zachodzie, a powierzchnia nr 2 – na północy obwodu żytomierskiego.

Powierzchnię nr 1 założono na siedliskach świeżych i wilgotnych borów mieszanych z charakterystycznymi dla danych ekosystemów zespołami roślinnymi, tj. drzewostanami 30–40-letnimi składającymi się z dwóch warstw: warstwy górnej, gdzie występowała sosna zwyczajna I klasy bonitacji z 20% łącznym udziałem brzozy brodawkowatej i osiki, oraz drugiej, w której występował dąb szypułkowy w III–IV klasie bonitacji. Średni poziom radioaktywnego skażenia gleby przez ^{137}Cs wynosił 29 ± 8 kBq/m², a średnia aktywność cezu 350 ± 130 Bq/kg.

Powierzchnia nr 2 charakteryzowała się przeważającym udziałem świeżych i wilgotnych lasów mieszanych. Drzewostan 30–40-letni składał się z trzech warstw: w pierwszej rosła sosna zwyczajna I klasy bonitacji; w drugiej – dąb szypułkowy II–III klasy bonitacji, brzoza brodawkowata i topola osika; a w trzeciej – klon zwyczajny, lipa, grab zwyczajny.

Średnia gęstość radioaktywnego skażenia gleby była niemal dwukrotnie większa niż na powierzchni nr 1 i wynosiła 55 ± 17 kBq/m², a aktywność cezu ^{137}Cs w glebie również była wyższa i wynosiła 855 ± 440 Bq/kg.

Powierzchnia nr 2 należy do strefy obowiązkowego wysiedlenia ludności (obejmuje tereny z poziomem skażenia ponad 37 kBq/m²). Powierzchnię nr 1 zaliczyć należy do terenów o nieznacznym skażeniu radioaktywnym.

Wybór gatunków do przeprowadzenia badania wynikał zarówno z ich roli w diecie zwierząt, jak i z pełnionych funkcji ekologicznych w fitocenozie. Ze względu na intensywne konsumowanie przez sarnę europejską, do badań wybrano:

- spośród roślin warstwy podrostu i podszytu: osikę (*Populus tremula* L.), dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.) oraz brzozę brodawkowatą (*Betula verrucosa* L.) i brzozę omszoną (*Betula pubescens* Ehrh.). Pierwsze dwa gatunki są pokarmem podstawowym, a brzoza – sezonowym składnikiem pokarmu, charakterystycznym dla jesieni i zimy;
- z roślin warstwy krzewów: jeżynę wyniosłą (*Rubus nessensis* W. Hall.) i malinę (*Rubus idaeus* L.). Jeżyna wyniosła jest jednym z podstawowych gatunków pokarmowych sarny w Żytomierskim Polesiu, a malina jest intensywnie konsumowana w sezonie jesiennym;
- z warstwy zielno-krzewinkowej: z rodziny wrzosowatych, jako dominanty i subdominanty w borach mieszanych i lasach mieszanych w Żytomierskim Polesiu: borówkę czarną (*Vaccinium myrtillus* L.), borówkę brusznicę (*Vaccinium vitis-idaea* L.), która jest charakterystycznym pokarmem zimowo-wiosennym oraz wrzos zwyczajny (*Calluna vulgaris* (L.) Hill), należący do pokarmów okresu jesienno-zimowo-wiosennego;

• grzyby, pomimo nieznaczej ich konsumpcji przez zwierzęta w lasach Żytomierskiego Polesia, ale z uwagi na istotną rolę w skażeniu radioaktywnym organizmu saren.

Pobieranie prób gatunków pokarmowych przeprowadzono w granicach strefy pokarmowej sarny europejskiej do wysokości 150 cm nad poziomem gleby. Próbkę wszystkich

gatunków roślin i grzybów pobrane zostały 5-krotnie z powierzchni 1 m² (co miesiąc do 15-tego dnia miesiąca pobierano 5 próbek, łącznie pobrano 600 próbek). Pędy gatunków drzewiastych o grubości do 5 mm pobierano w stanie ulistnionym lub bezlistnym, w zależności od pory roku. Owocniki grzybów ścinano nad powierzchnią gleby i oczyszczano ze ściółki. Uwzględniając znaczną mozaikowość skażenia radioaktywnego, do każdej próbki roślin i owocników grzybów pobierano odpowiednie próbki gleby. Gleba była pobierana świdrem o średnicy 5 cm do głębokości 10 cm w granicach 1 m² dokoła rośliny lub w miejscu pobierania grzybów i krzewinek.

Pomiar aktywności ¹³⁷Cs przeprowadzono według oryginalnej metodyki w rozdrobionych powietrznie suchych próbkach gleby i roślin (ustalono poziom skażenia w przeliczeniu na 1 kg), a także w świeżych rozdrobionych próbkach grzybów za pomocą wielokanałowego analizatora AFORA LP-4900B z półprzewodnikowym detektorem DG DK-80 B-3. Błąd pomiaru wahał się w granicach 5,1–8,5%. Dla scharakteryzowania specyfiki kumulacji ¹³⁷Cs w pokarmie sarny wykorzystano wskaźnik kumulacji, obliczony jako

stosunek poziomu radioaktywności roślin do poziomu radioaktywności gleby (w Bq/kg).

Wartości wskaźników kumulacji ¹³⁷Cs (przejścia ¹³⁷Cs w pędy roślin) w jednorocznych pędach podrostu gatunków drzewiastych i roślin podszytu w ciągu roku (w różnych miesiącach) porównano z wykorzystaniem testów t-Studenta i Fishera, a dla podszytu również z wykorzystaniem wskaźnika Pearsona.

3. Wyniki badań i dyskusja

Rośliny podrostu

Porównanie średnich wartości wskaźników kumulacji ¹³⁷Cs wskazuje na to, że w próbach z lasów mieszanych ich wartości dla każdego z badanych gatunków były na ogół niższe niż dla prób pobranych z warunków borów mieszanych (tab. 1). Może to oznaczać, że wraz ze zwiększaniem się żyzności gleby kumulacja radionuklidów w roślinach zmniejsza się. Niezależnie od żyzności siedliska średnioroczne warto-

Tabela 1. Dynamika wskaźników kumulacji ¹³⁷Cs w jednorocznych pędach podrostu gatunków drzewiastych w ciągu roku (wskaźnik kumulacji nie ma jednostki)

Table 1. Dynamics of accumulation indices of ¹³⁷Cs in yearly shoots of tree undergrowth species during the year (accumulation indices has no units)

Miesiąc Month	Świeże i wilgotne bory mieszane (pow. nr 1) Fresh and moist mixed coniferous forests (Sample plot 1)			Świeże i wilgotne lasy mieszane (pow. nr 2) Fresh and moist mixed broadleaved forests (Sample plot 2)		
	dąb oak	osika aspen	brzoza birch	dąb oak	osika aspen	brzoza birch
Luty February	0,70±0,08	0,56±0,21	0,44±0,11	1,59±0,20	0,53±0,37	0,29±0,01
Marzec March	–	–	–	0,93±0,34	0,74±0,18	0,86±0,17
Kwiecień April	1,32±0,26	0,44±0,11	1,16±0,27	–	–	–
Maj May	–	–	–	1,24±0,26	0,55±0,06	0,64±0,13
Czerwiec June	1,19±0,25	1,17±0,09	0,88±0,13	–	–	–
Lipiec July	–	–	–	0,70±0,16	0,44±0,09	1,57±0,33
Sierpień August	–	–	–	2,17±0,42	0,35±0,05	0,94±0,17
Wrzesień September	2,24±0,27	2,08±0,34	1,40±0,43	0,58±0,13	0,36±0,03	0,12±0,03
Październik October	0,72±0,10	0,43±0,12	1,04±0,10	0,52±0,03	1,45±0,44	0,59±0,06
Listopad November	–	–	–	–	–	–
Grudzień December	–	–	–	0,53±0,10	0,41±0,09	0,36±0,06
Średnia Average	1,23±0,10	0,93±0,09	0,98±0,12	1,03±0,08	0,60±0,08	0,72±0,06

ści wskaźnika kumulacji ^{137}Cs wzrastały w szeregu: osika > brzoza > dąb. Na powierzchni nr 1 wskaźnik kumulacji ^{137}Cs przez dąb okazał się wyższy o 24% od analogicznego wskaźnika dla osiki i o 20% dla brzozy. Na powierzchni nr 2 różnice te wynosiły odpowiednio 42 i 30%. Intensywność kumulacji ^{137}Cs przez brzozę i osikę w borach mieszanych praktycznie była jednakowa dla obu gatunków, a w lasach mieszanych dla brzozy większa o 10%.

W różnych okresach wegetacji wartości wskaźników kumulacji ^{137}Cs w częściach roślin podszytu, będących pokarmem sarny, zmieniały się w zależności od gatunku i warunków siedliskowych. Wskaźnik kumulacji cezu dla pędów dębu w borach mieszanych osiągał maksimum we wrześniu, a w lasach mieszanych – w sierpniu. W porównaniu z wartościami średniorocznymi dla lasów mieszanych wartość dla tego miesiąca była większa 1,82 razy, a w lasach mieszanych – 2,11 razy. Analiza dynamiki zmian wartości wskaźników kumulacji ^{137}Cs w pędach osiki wykazała, że w borach mieszanych maksymalną wartość wskaźnika odnotowano we wrześniu (2,24 razy przekraczała wartość średnioroczną dla tego gatunku),

a w lasach mieszanych – w październiku (2,42 razy wyższa od średniej). Z kolei maksymalne wartości wskaźnika kumulacji ^{137}Cs w pędach podrostu brzozy w borach mieszanych były stwierdzone we wrześniu (1,43 razy przekraczały wartość średnioroczną), a w lasach mieszanych – w lipcu (2,18 razy).

Rośliny warstwy podszytu

Porównanie średnich wartości wskaźników kumulacji ^{137}Cs w pokarmowej części pędów podszytu potwierdza tezę, że wraz ze wzrostem żyzności zmniejsza się kumulacja radionuklidów w roślinach (tab. 2). W lasach mieszanych – w porównaniu z borami mieszany – średnia wartość wskaźnika kumulacji ^{137}Cs dla jeżyny wyniosłej była mniejsza o 26%, a dla maliny – o 58 %. Należy zaznaczyć, że oprócz żyzności gleby, intensywność kumulacji radionuklidów w roślinach warstwy podszytu zależy także od biologicznych i ekologicznych właściwości konkretnego gatunku. W świeżych i wilgotnych lasach mieszanych średnioroczna wartość wskaźnika kumulacji ^{137}Cs maliny przekraczała od-

Tabela 2. Dynamika wskaźników kumulacji (przejścia ^{137}Cs w pędy roślin) dla roślin podszytu w ciągu roku (wskaźnik kumulacji nie ma jednostki)

Table 2. Dynamics of accumulation indices of ^{137}Cs in plant shoots for understorey plants during the year (accumulation indices has no units)

Miesiąc Month	Świeże i wilgotne bory mieszane (pow. nr 1) Fresh and moist mixed coniferous forests (Sample plot 1)		Świeże i wilgotne lasy mieszane (pow. nr 2) Fresh and moist mixed broadleaved forests (Sample plot 2)	
	jeżyna blackberry	malina raspberry	jeżyna blackberry	malina raspberry
Luty February	0,65±0,25	3,48±0,59	0,71±0,01	0,63±0,23
Marzec March	–	–	0,57±0,12	0,57±0,15
Kwiecień April	0,84±0,07	0,79±0,15	–	–
Maj May	–	–	1,03±0,23	1,11±0,28
Czerwiec June	1,01±0,13	1,13±0,33	–	–
Lipiec July	–	–	2,90±0,59	0,83±0,17
Sierpień August	–	–	0,86±0,18	0,82±0,17
Wrzesień September	1,50±0,29	2,50±0,59	0,50±0,07	0,46±0,09
Październik October	2,22±0,19	0,71±0,08	0,60±0,08	0,81±0,18
Listopad November	–	–	–	–
Grudzień December	–	–	0,15±0,02	0,51±0,06
Średnia Average	1,24±0,10	1,72±0,16	0,92±0,09	0,72±0,06

powiedni wskaźnik wyliczony dla jeżyny wyniosłej o 28%, a w świeżych i wilgotnych lasach mieszanych stwierdzono sytuację odwrotną, gdyż wartość wskaźnika kumulacji cezu dla jeżyny była o 22% wyższa niż dla maliny.

Zmiana wartości wskaźników przejścia ^{137}Cs z gleby do maliny jest stopniowa, bez gwałtownych wahań, gdyż wzrastają one wraz z rozwojem wegetatywnym i zmniejszają się przy zanikaniu aktywnej wegetacji. Zmiany wartości wskaźników przejścia ^{137}Cs do maliny w borach mieszanych w kwietniu i październiku są mniejsze niż w okresie od maja do września ($F_f = 11,22 > F_{(4;19;0,5)} = 2,90$). W lasach mieszanych sezonowe wahania wskaźników przejścia nie różniły się istotnie statystycznie. W przypadku jeżyny wyniosłej różnica w wartości wskaźników przejścia w różnych miesiącach była statystycznie istotna, zarówno na powierzchni nr 1 ($F_f = 9,08 > F_{(4;21;0,5)} = 2,84$), jak i na powierzchni nr 2 ($F_f = 11,13 > F_{(7;28;0,5)} = 2,36$). Otrzymane wyniki sugerują, iż w lasach mieszanych w lipcu kumulacja radionuklidów w roślinach wzrasta ponad trzykrotnie w porównaniu ze średnią.

Dla porównania dynamiki wskaźników kumulacji (przejścia ^{137}Cs w pędy roślin) dla roślin podszytu w ciągu roku zastosowano wskaźnik Pearsona. Wskaźnik korelacji liniowej dla borów mieszanych wyniósł 0,87, a dla lasów mieszanych – 0,72, wartość $p = 5\%$.

Warstwa krzewinek

Średnie wartości wskaźników kumulacji ^{137}Cs w krzewinkach rodziny Ericaceae były wyższe niż w przypadku badanych gatunków podrostu i podszytu (tab. 3). Stwierdzono również zmniejszanie się wartości tych wskaźników wraz ze wzrostem żyzności gleby, co jest zgodne z wynikami innych badaczy (Šeglov et al. 2001; Perevolockij 2006; Krasnov et al. 2007; Šitůk et al. 2010).

Analiza prób borówki czarnej i borówki brusznicy z powierzchni nr 2 wykazała znaczne sezonowe wahania wartości wskaźników kumulacji ^{137}Cs . Początek aktywnej wegetacji (marzec) charakteryzuje się gwałtownym wzrostem kumulacji cezu w roślinach: w borówce czarnej ilość cezu była 1,76 razy

Tabela 3. Dynamika wskaźników kumulacji ^{137}Cs w krzewinkach (wskaźnik kumulacji nie ma jednostki)

Table 3. Dynamics of ^{137}Cs accumulation indices in the shrubs (accumulation indices has no units)

Miesiąc Month	Świeże i wilgotne bory mieszane (pow. nr 1) Fresh and moist mixed coniferous forests (Sample plot 1)			Świeże i wilgotne lasy mieszane (pow. nr 2) Fresh and moist mixed broadleaved forests (Sample plot 2)		
	borówka czarna bilberry	borówka brusznica lingonberry	wrzos heather	borówka czarna bilberry	borówka brusznica lingonberry	wrzos heather
Luty February	3,33±0,38	3,00±0,10	0,85±0,16	1,02±0,31	1,49±0,42	–
Marzec March	–	–	–	2,16±0,37	2,84±0,33	5,00±0,93
Kwiecień April	2,06±0,37	1,53±0,09	–	–	–	–
Maj May	–	–	–	0,46±0,07	1,39±0,25	–
Czerwiec June	1,26±0,12	1,83±0,08	1,87±0,35	–	–	–
Lipiec July	–	–	–	1,08±0,11	1,55±0,21	1,03±0,34
Sierpień August	–	–	–	2,52±0,44	2,90±0,38	3,08±0,31
Wrzesień September	1,04±0,13	1,14±0,23	2,33±0,96	0,40±0,04	0,32±0,10	4,13±0,77
Październik October	1,38±0,81	1,13±0,15	3,48±0,92	1,70±0,11	4,72±0,82	9,76±0,78
Listopad November	–	–	–	–	–	–
Grudzień December	–	–	–	0,54±0,06	1,75±0,47	3,39±0,59
Średnia Average	1,81±0,17	1,73±0,12	2,13±0,35	1,23±0,09	2,12±0,15	4,40±0,26

większa w porównaniu z wartością średnioroczną, natomiast u borówki brusznicy – 1,34 razy. Wzrost wskaźników kumulacji ^{137}Cs w roślinach stwierdzono także w okresie owocowania (sierpień). Kumulacja ^{137}Cs w borówce czarnej wzrosła 2,05 razy w porównaniu z wartością średnioroczną, a u borówki brusznicy – 1,37 razy. Wzrost wskaźników kumulacji ^{137}Cs w roślinach rodziny wrzosowatych obserwowano w końcu okresu aktywnej wegetacji (październik). Dla borówki czarnej wartość wskaźnika wzrosła 1,38 razy, a dla borówki brusznicy – 2,22 razy. Gatunki krzewinkowe mają podobne właściwości biologiczne i ekologiczne, ich systemy korzeniowe zajmują podobne mikronisze. Różnice pomiędzy gatunkami mogą być spowodowane tym, że w badanym okresie pędy borówki czarnej były w stanie bezlistnym, a borówki brusznicy – w stanie ulistnionym. We wrzosie maksymalne sezonowe wartości wskaźników kumulacji ^{137}Cs były notowane w końcu okresu aktywnej wegetacji. W borach mieszanych wskaźnik kumulacji cezu przekraczał wartości średnie 1,63 razy, a w lasach mieszanych 2,22 razy.

Na podstawie średnich wartości wskaźnika kumulacji rośliny wrzosowate w borach mieszanych można uszeregować wzrastająco: borówka brusznica > borówka czarna > wrzos. Z kolei w lasach mieszanych: borówka czarna > borówka brusznica > wrzos. Uwzględniając brak statystycznie istotnej różnicy w kumulacji cezu między borówką czarną i borówką brusznicą w lasach mieszanych, można wnioskować, że wielkość kumulacji ^{137}Cs w tych gatunkach nie zależy od żyzności siedliska. Wyniki uzyskane dla powierzchni zlokalizowanej w borach mieszanych wskazują, że wartości wskaźnika kumulacji ^{137}Cs we wrzosie przekraczają wartości dla borówki czarnej i borówki brusznicy 1,18 i 1,23 razy, natomiast w lasach mieszanych są one większe, odpowiednio: 3,58 i 2,08 razy.

Grzyby

W diecie sarny europejskiej udział owocników grzybów jesienną nie przekracza 1,4% (Krasnov et al. 2007; Krasnov et al., w druku). Porównanie wartości wskaźników kumulacji ^{137}Cs w owocnikach grzybów różnych gatunków występujących na badanych powierzchniach wskazuje na zróżnicowaną intensywność kumulacji cezu w różnych warunkach siedliskowych (tab. 4).

W lasach mieszanych, na podstawie wzrastających wartości ^{137}Cs w owocnikach, poszczególne gatunki tworzą następujący szereg: pieprznik < borowik < gołąbek < koźlarz < podgrzybek brunatny < krowiak podwinięty. Z kolei w lasach mieszanych szereg ten przedstawia się następująco: pieprznik < borowik < gołąbek < podgrzybek brunatny < koźlarz < krowiak podwinięty. Stwierdzono dość znaczne wahania w kumulacji ^{137}Cs w owocnikach grzybów różnych gatunków rosnących w jednakowych warunkach siedliskowych. Wskaźnik kumulacji ^{137}Cs w owocnikach krowiaka w porównaniu do owocników borowika był w lasach mieszanych wyższy 5,7 razy, a w lasach mieszanych – 6,6 razy. Ogólnie, wartość wskaźnika kumulacji ^{137}Cs w owocnikach gołąbka, krowiaka i podgrzybka w lasach mieszanych była niższa niż w borach mieszanych. Różnica wyniosła odpowiednio: 3,4; 3,1 i 8 razy. Dla pieprznika, borowika i koźlarza nie wykazano statystycznie istotnych różnic średnich wartości wskaźnika kumulacji w różnych warunkach siedliskowych.

Na podstawie otrzymanych wyników można wnioskować, że głównym czynnikiem, który wyznacza wartość wskaźnika kumulacji cezu w owocnikach grzybów jest typ siedliska. Wzrost żyzności gleby powodował zmniejszenie migracji ^{137}Cs z gleby do owocników grzybów. Uwzględniając stopień kumulacji ^{137}Cs , grzyby można podzielić na słabo i intensywnie kumulujące badany radionuklid. Do pierwszej grupy należą gatunki, które mają dla sarny największe znaczenie pokarmowe, do drugiej zaś grzyby, których zasoby są dość znaczne w lasach Żytomirskiego Polesia. Konsumpcja grzybów o wysokich wskaźnikach kumulacji substancji radioaktywnej może powodować znaczny wzrost ogólnej zawartości ^{137}Cs w organach sarny europejskiej.

Dynamika zmian aktywności cezu

Analiza dynamiki aktywności ^{137}Cs w pokarmowej części roślin podrostu i podszytu w okresie aktywnej wegetacji świadczy o tym, że w kumulacji radionuklidów w pędach występują widoczne maksima (ryc. 1). Maksymalne skażenie pokarmowej części dębu odnotowano w sierpniu, osiki – w październiku, a brzozy – w lipcu. Największe wartości

Tabela 4. Wskaźniki kumulacji ^{137}Cs w owocnikach grzybów (wskaźnik kumulacji nie ma jednostki)

Table 4. Accumulation indices of ^{137}Cs in the fruiting bodies of fungi (accumulation indices has no units)

Gatunek grzyba Species of fungus	Wskaźnik kumulacji Accumulation indices		Zdolność do kumulacji The ability to accumulation
	bory mieszane mixed coniferous forests	lasy mieszane mixed broadleaved forests	
<i>Cantharellus</i> spp. Adans. ex Fr.	0,68±0,31	0,29±0,03	słabo kumulujące weakly cumulative
<i>Boletus edulis</i> Bull.	1,88±0,29	0,52±0,19	
<i>Russula</i> spp. Pers.	3,51±0,40	1,03±0,26	
<i>Leccinum</i> spp. Gray	4,91±1,14	2,63±0,93	intensywnie kumulujące intensively cumulative
<i>Xerocomus badius</i> (Fr.) E.-J. Gilbert	10,54±3,70	1,30±0,50	
<i>Paxillus involutus</i> Fr.	10,63±2,57	3,45±1,82	

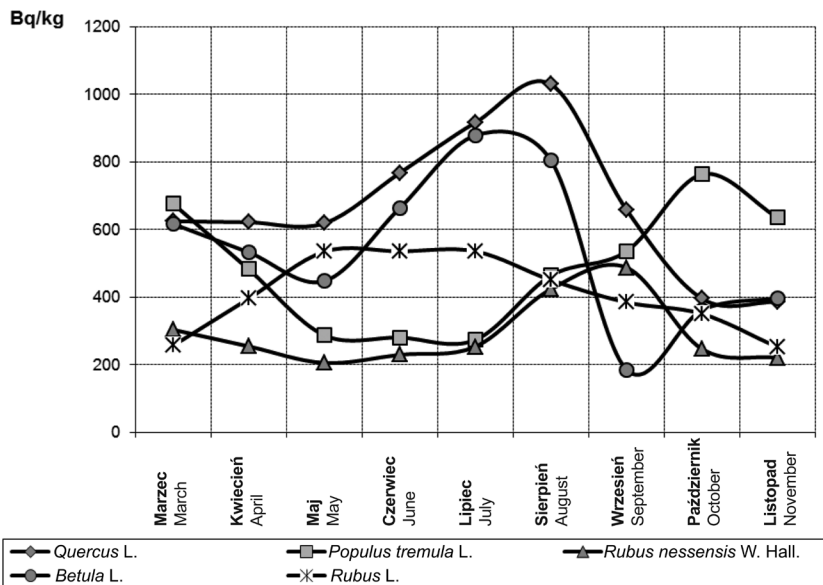
aktywności ^{137}Cs w pędach maliny wystąpiły latem, a jeżyny wyniosłej w sierpniu – wrześniu.

Uzyskane wyniki świadczą o narastającej kumulacji ^{137}Cs w pokarmowej części dębu, osiki i jeżyny wyniosłej pod koniec lata i jesienią. Właśnie te pokarmy zajmują ważne miejsce w diecie sarny europejskiej w lasach Centralnego Polesia Ukrainy. Średnioroczna zawartość pędów dębu i osiki w diecie wynosi po 13%, a jeżyny wyniosłej 12%, natomiast w jesiennej diecie udział tych gatunków wynosi odpowiednio 13, 28 i 13% (Krasnov 2007). Analiza zawartości żołądków 15 zwierząt pozyskanych jesienią wykazała obecność niestrawionych pędów. W 47% stwierdzono pędy dębu, w 73% – pędy osiki, a w 20% – pędy jeżyny wyniosłej. Intensywna konsumpcja tych roślin pokrywa się w czasie ze statystycznie istotnym wzrostem aktywności w nich ^{137}Cs .

W przeciwieństwie do dębu i osiki, pędy brzozy i maliny są pokarmem sezonowym, zjadanym przez sarnę w znacznie

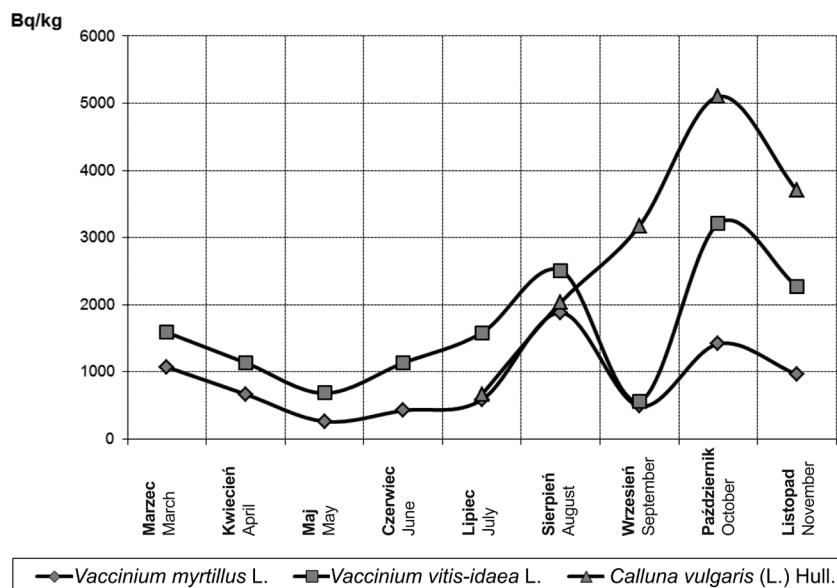
mniejszych ilościach. Zawartość brzozy w jej diecie wynosi 3,4% jesienią i 10,6% zimą, a maliny – 5 % jesienią (Krasnov et al. 2007). Tak więc maksymalna kumulacja ^{137}Cs w brzozie i malinie nie pokrywa się w czasie z jej intensywną konsumpcją. Porównanie specyfiki składu pokarmu sarny europejskiej i specyfiki radioaktywnego skażenia pokarmowej części roślin pozwala wnioskować o tym, że jedną z przyczyn wzrostu poziomu kumulacji ^{137}Cs w organizmie tego gatunku jesienią może być intensywna konsumpcja przez zwierzęta pędów dębu, osiki i jeżyny wyniosłej (Krasnov et al. 2015).

Badania dynamiki aktywności ^{137}Cs w borówce czarnej, borówce brusznicy i wrzosie świadczą o wzroście radioaktywnego skażenia w końcu okresu aktywnej wegetacji (ryc. 2). Maksymalną zawartość ^{137}Cs w pędach wrzosu i borówki brusznicy odnotowano bowiem w październiku, a borówki czarnej – w sierpniu. W diecie sarny europejskiej borówka czarna jest podstawowym pokarmem, który jest konsumowany w ciągu ca-



Rycina 1. Dynamika aktywności ^{137}Cs w pokarmowej części roślin podrostu i podszytu w lasach mieszanych

Figure 1. Dynamics of ^{137}Cs activity in the food plant parts of the undergrowth and understory plants in mixed broadleaved forests



Rycina 2. Dynamika aktywności ^{137}Cs w krzewinach w lasach mieszanych

Figure 2. Dynamics of ^{137}Cs activity in the shrubs in mixed broadleaved forests

tego roku. Wcześniejsze badania wykazały, że wrzos i borówka brusznica obecne są w składzie jesiennych, zimowych i wiosennych pokarmów (Krasnov et al. 2015). Jesienią udział borówki czarnej w diecie sarny europejskiej wynosi 4,7%, wrzосу – 2,3%, natomiast borówka brusznica konsumowana jest rzadko (Krasnov et al. 2007; Krasnov et al. 2015). Pomimo że maksimum konsumpcji danych pokarmów przez sarnę europejską na Centralnym Polesiu Ukrainy przypada na zimę, wzrost zawartości ^{137}Cs w roślinach, stwierdzany już jesienią, może wpłynąć na ogólny poziom radioaktywnego skażenia zwierząt.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Poziom radioaktywnego skażenia roślin i grzybów, które wchodzi w skład pokarmu sarny europejskiej zależy od żyzności gleby. Najwyższą aktywność cezu ^{137}Cs w roślinach i grzybach odnotowano w warunkach ubogich siedlisk. Wraz ze wzrostem żyzności gleby intensywność migracji radionuklidów w rośliny i grzyby zmniejsza się.

2. Największy poziom aktywności ^{137}Cs w liściach i jednorocznych pędach drzewiastych gatunków podrostu i podszyciu, krzewów i krzewinek konsumowanych przez sarnę europejską był obserwowany pod koniec lata oraz we wrześniu – październiku, co może powodować wzrost poziomu radioaktywnego skażenia organizmu sarny.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

Badania zostały sfinansowane przez Ministerstwo Sytuacji Nadzwyczajnych Ukrainy.

Literatura

Bulko N.I., Shabaleva M.A., Kozlov A.K., Tolkacheva N.V., Mashkov I.A. 2013. The ^{137}Cs accumulation by forest-derived products in the Gomel region. *Journal of environmental radioactivity*, 1–28. DOI 10.1016/j.jenvrad.2013.02.003

- Drożdż A., Osiecki A. 1973. Intake and digestibility of natural feeds by roe-deer. *Acta Theriologica* 18: 81–91.
- Fawaris B. 1995. Behaviour of ^{137}Cs in the boreal forest ecosystem of Central Sweden. Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, 1–43.
- Krasnov V.P., Orlov A.A., Buzun V.A., Shelest Z.M., Landin V.P. 2007. Prikładna radioekologia lesa. Żytomierz. Wydawnictwo Polissâ, 1–680.
- Krasnov V., Shelest Z.M., Boiko S., Gulik I., Sieniawski W. 2015. Skład pokarmu sarny europejskiej *Capreolus capreolus* w ekosystemach leśnych Żytomierskiego Polesia Ukrainy. *Leśne Prace Badawcze*. 76 (2): 184–190. DOI: 10.1515/frp-2015-0018.
- Lehto J., Vaaramaa K., Leskinen A. 2013. ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ and ^{241}Am in boreal forest soil and their transfer into wild mushrooms and berries. *Journal of environmental radioactivity*, 116: 124–132. DOI 10.1016/j.jenvrad.2012.08.012
- Mamihin S.V., Nikulina M.V., Manahov D.V. 2005. Mechanizmy sezonnoj i mnogoletnej dinamiki radioaktivnyh izotopov ceziâ w ekosisteme dubowego lesa. *Problemy radioekologii i pograničnyh disciplin*, 6: 292–308.
- Perevolockij A.N. 2006. Raspredelenie ^{137}Cs i ^{90}Sr w lesnyh biogeocenozah. Gomel'. RNIUP Institut radiologii, 1–225.
- Prostakov N. P. 1989. Kosulâ Centralnego Černozem'â: Avtoref. dis. k.b.n. Moskva, 1–19.
- Shelest Z.M. 2004. Ocenka radioaktivnogo zagrâzneniâ raciona kosuli evropejskoj. *Problemy radioekologii lesa. Les. Čelovek. Černobyl'*. Gomel', 61: 271–275.
- Sokolov V.E. (ed). 1992. Evropejskaâ i sibirskaâ kosuli. Sistematika, ekologiâ, povedenie, racional'noe ispol'zovanie i ohrana. Moskva. *Nauka*, 1–399.
- Šitûk K.F., Orlov O.O., Mel'ničuk S.D. 2010. Porivnâl'na ocinka rozpodilu ^{137}Cs w ekosystemah sosnovih i sosnovo-dubovih lisiv Ukraïns'kogo Polissâ. *Áderna fizika i energetika*, 11: 74–81.
- Šeglov A.I., Cvetnova O.B. 2001. Rol' lesnyh ekosistem pri radioaktivnom zagrâznenii. *Priroda*, 4: 23–32.

Wkład autorów

V.K. – pomysł i koncepcja, opracowanie wyników i wniosków; Z.S. – przegląd literatury, prowadzenie pomiarów terenowych; S.B. – analiza wyników, opracowanie wniosków i dyskusji; I.G. – prowadzenie pomiarów terenowych; W.S. – analiza wyników, opracowanie wniosków i dyskusji.