

SERGIJ BOJKO

Gospodarka leśna w warunkach skażenia radioaktywnego

Forest management under radioactive contamination

ABSTRACT

Bojko S. 2006. Gospodarka leśna w warunkach skażenia radioaktywnego. Sylwan 11: 30-39.

Nearly 3.5 million hectares of forest were contaminated by radioactive effluents from the Chernobyl Nuclear Power Plant. *Pinus sylvestris* L. is the species most sensitive to radiation. Pine wood showed the lowest levels of potential ^{137}Cs activity, while in assimilatory apparatus and bark such activity was highest. Among the non-wood products, mushrooms, berries, medicinal plants and venison that feature the highest ability to accumulate radioactive elements. Partial cuts ensure canopy closure of stands and reduce the vertical and horizontal radionuclide migration. Afforestation is one of the main land reclamation methods applied in contaminated areas. Mechanical planting with limited tending of plantations is used most often there. In cutting areas with a radioactivity level dangerous to carry out regeneration operations, natural regeneration is used exclusively.

KEY WORDS

Chernobyl, nuclear power plant, contamination, forest management, land reclamation

ADDRESSES

Sergij Bojko – Zakład Hodowli Lasu; Instytut Badawczy Leśnictwa;
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. Nr 3; 00-973 Warszawa; e-mail: S.Bojko@ibles.waw.pl

Wprowadzenie

W wyniku awarii czarnobylskiej elektrowni atomowej 26 kwietnia 1986 roku, radioaktywnemu skażeniu uległy tereny o powierzchni około 5 mln ha, w w tym lasy na obszarze ponad 3,5 mln ha. Na powierzchni leśnej 157 tys. ha po awarii wstrzymano działalność gospodarczą wskutek wysokiego poziomu radioaktywnego skażenia cezem-137 (ponad 15 Ci/km²). Blisko 40% zasobów leśnych Ukrainy znajduje się w najbardziej skażonym regionie – na Polesiu. Pozyskuje się tutaj znaczącą ilość drewna oraz innych produktów leśnych. Lasy zajmują także blisko 70% ogólnej powierzchni tzw. strefy wyłączzonej (o promieniu 30 km dokoła elektrowni).

W momencie wybuchu do środowiska dostało się w sumie blisko 50 MCi produktów podziału. Po wybuchu do atmosfery trafiły głównie izotopy jodu, ksenonu, cezu, strontu, rutenu. Stężenia radioaktywnych izotopów cezu i strontu w atmosferze strefy wyłączzonej były ok. 400 razy większe niż po wybuchu bomby nad Hiroszimą. Związki radioaktywne podczas pożaru reaktora były roznoszone przez dwa strumienie powietrza: dolny, na wysokości do 1,2 km i górny – na wysokości 1,2-7 km. Górnym strumieniem przenoszone były cząstki i aerozole o najmniejszej średnicy (poniżej 1 mikrometra – jod-131, cez-137), na odległości liczone w tysiącach kilometrów (na obszar Polski, Czech, Finlandii, Szwecji i in. krajów). Dolny strumień rozniósł komponenty o większej średnicy, głównie na tereny Ukrainy, Białorusi i Rosji.

Obecnie sytuacja na terenach skażonych stabilizuje się. Jako pierwszy uległ rozkładowi jod-131, aktywność związków radioaktywnych w glebie zmniejszyła się około trzydziestu razy.

Głównymi czynnikami skażenia radioaktywnego są obecnie związki cezu, strontu i plutonu. Stopień zanieczyszczenia i przestrzenny rozkład stref skażenia jest uwarunkowany różnymi mechanizmami emisji, a także warunkami meteorologicznymi, ukształtowaniem terenu i charakterem krajobrazu. Najwięcej terenów Ukrainy zostało zanieczyszczonych cezem-137. Większość związków radioaktywnych zalegało w powierzchniowej warstwie gleby (0-5 cm). Nagromadzenie w środowisku tak dużej ilości radionuklidów nie znajduje analogii w świecie.

Podział skażonych lasów na strefy

Na terenach leśnych o poziomie skażenia gleby cezem-137 ponad 1 Ci/km² gospodarka leśna realizowana jest zgodnie z „Wytycznymi prowadzenia gospodarki leśnej w warunkach skażenia radioaktywnego”, opracowanymi przez naukowców Ukraińskiego Instytutu Badawczego Leśnictwa i Melioracji Leśnej. Obecnie na tym terenie działa 70 nadleśnictw, w których zatrudnionych jest 36 tysięcy osób, czyli 34% wszystkich pracujących w sektorze leśnym na Ukrainie [Państwowy Komitet Gospodarki Leśnej Ukrainy], stworzenie więc bezpiecznych warunków pracy i ochrona zdrowia ludzi pracujących na zanieczyszczonych terenach jest ważnym problemem o wymiarze społecznym. Ograniczenia w prowadzeniu i użytkowaniu produkcji leśnej dla poszczególnych stref i podstref w zależności od poziomu zanieczyszczenia gleby cezem-137 podano w tabeli 1.

Gospodarka leśna w lasach strefy wyłączzonej jest według wytycznych Ministerstwa Sytuacji Nadzwyczajnych Ukrainy zróżnicowana na trzy typy [Korobko i in. 2005]:

Gospodarka kontrolowana prowadzona na terenie o zanieczyszczeniu radioaktywnym ¹³⁷Cs do 40 Ci/km², ⁹⁰Sr do 3 Ci/km² oraz ^{238,239,240}Pu – do 0,1 Ci/km². Na tych terenach możliwe jest pozyskanie drewna przy obowiązkowym okorowaniu. Powierzchnia lasów zagospodarowanych w sposób kontrolowany wynosi 34% terenów leśnych strefy wyłączzonej.

Gospodarka limitowana stosowana na terenie, gdzie poziomy zanieczyszczenia wynoszą: ¹³⁷Cs do 40 – 100 Ci/km², ⁹⁰Sr do 10 Ci/km², ^{238,239,240}Pu – do 0,3 Ci/km². Powierzchnia leśna objęta tym typem zagospodarowania wynosi 27% terenów leśnych strefy wyłączzonej. Tutaj gospodarka wyróżnia się ograniczeniem działalności do zabiegów zmierzających do poprawy sanitarnego i przeciwpożarowego stanu lasu.

Tabela 1.

Podział lasów według poziomu radioaktywnego zanieczyszczenia gleby cezem 137
Division of forests in relation to radioactive contamination of soil by ¹³⁷Cs

Strefa	Podstrefa	Poziom zanieczyszczenia gleby ¹³⁷ Cs, Ci/km ²	Ograniczenia w prowadzeniu i użytkowaniu produkcji leśnej
1	–	>15,1	Ograniczenie ciągłości pracy przy wykonaniu zabiegów gospodarczych. Specjalny reżim prowadzenia gospodarki leśnej
2	a	5,1-7,0	Ograniczenie wykorzystania drewna opałowego, zakaz konsumpcji mięsa dzikich zwierząt. Zakaz polowania
	b	7,1-10,0	Zakaz wykorzystania drewna opałowego
	c	10,1-15,0	Zakaz wykorzystania drewna opałowego
3	a	1,1-2,0	Ograniczenie wykorzystania niedrzewnej produkcji lasów (grzybów, jagód, roślin leczniczych)
	b	2,1-5,0	Zakaz wykorzystania niedrzewnej produkcji lasów

Gospodarka ochronna prowadzona na terenie, gdzie poziomy skażeń są największe: ^{137}Cs powyżej 100 Ci/km^2 , ^{90}Sr powyżej 10 Ci/km^2 , $^{238,239,240}\text{Pu}$ powyżej $0,3 \text{ Ci/km}^2$. Działalność ogranicza się tutaj wyłącznie do zabiegów przeciwpożarowych. Powierzchnia terenów objętych tym sposobem zagospodarowania wynosi 39% terenów leśnych strefy wyłączzonej. Tereny te uważa się za nieprzydatne do produkcji leśnej.

Radioaktywność biomasy

Las, odgrywając ważną rolę w adsorpcji i redystrybucji radionuklidów, stabilizacji i samooczyszczeniu ekosystemów, równocześnie wyróżnia się dużą wrażliwością radiacyjną w porównaniu z innymi fitocenozy. Wrażliwość drzewostanów iglastych jest 5-10 razy większa niż liściastych. Najbardziej wrażliwym na radiacyjne zanieczyszczenia gatunkiem jest sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L. [Kaletnyk 1999]. Odporność roślin trawiastych na działanie radiacji jest 10 razy większa niż drzew. Mchy, porosty i rośliny wodne mają jeszcze większą odporność [Murahtanov i in. 1997].

Podstawowym źródłem trwałego zanieczyszczenia biomasy roślinnej, szczególnie drewna, jest zanieczyszczona gleba. Ustalono, że zawartość ^{137}Cs w drewnie i w innych tkankach i organach drzew jest proporcjonalna do poziomu radioaktywnego zanieczyszczenia gleby tym radionuklidem we wszystkich typach lasu, a gromadzenie radionuklidów w sosnie zwyczajnej znacznie wyprzedza okres jego półrozpadu. Ustalono tendencję corocznego zwiększenia potencjalnej aktywności ^{137}Cs we wszystkich organach drzew. Przy tym zawartość radionuklidów w poszczególnych komponentach fitocenozy znacznie waha się, co jest uwarunkowane, oprócz innych czynników, pionową i poziomą nierównomiernością zanieczyszczenia gleby radionuklidami.

Intensywność gromadzenia radionuklidów przez roślinność drzewiastą zależy od izotopowego składu zanieczyszczeń, gatunku drzewa, agrochemicznych właściwości gleby i czasu po awarii [Irklienko i in. 2003; Kuchma 2005]. Wśród tkanek i organów drzewiastych gatunków najmniejsze poziomy potencjalnej aktywności ^{137}Cs obserwowano w drewnie, a w innych komponentach fitomasy potencjalna aktywność zmniejsza się następująco: organy asymilacyjne, kora, gałęzie [Irklienko i in. 2003]. Ustalono, że gromadzenie ^{137}Cs w drzewostanie zależy także od fizjologicznego stanu poszczególnych drzew, ich cenotycznego położenia, a na gromadzenie cezu w igłach wpływa także reżim świetlny, wiek igel i klasa rozwoju drzewa [Irklienko i in. 2003]. Ujawniono statystycznie istotne zwiększanie się potencjalnej aktywności radionuklidów w drewnie pnia i korze sosny od odziomka do wierzchołka. Potencjalna aktywność ^{137}Cs w korze na wierzchołku pnia jest 1,8–2,6 razy większa niż w odziomkowej części. Dla wszystkich stref radioaktywnego zanieczyszczenia obserwowano tendencję zmniejszenia się z czasem zawartości ^{137}Cs w zewnętrznej części kory [Irklienko i in. 2003].

W głównej produkcji gospodarki leśnej – w drewnie, stopniowo zwiększa się zawartość radionuklidów wskutek przyrastania poawaryjnych warstw drewna i dyfuzji radionuklidów z peryferyjnych warstw do wewnętrznych. W 2003 roku potencjalna aktywność cezu w drewnie z korą w lasach północnych rejonów obwodu żytomierskiego przy poziomie zanieczyszczenia od 1 do 15 Ci/km^2 waha się od 80 do 1400 Bk/kg , w drewnie bez kory $50\text{--}1100 \text{ Bk/kg}$, w obwodzie kijowskim odpowiednio $70\text{--}820 \text{ Bk/kg}$ i $45\text{--}300 \text{ Bk/kg}$. W innych obwodach na ukraińskim Polesiu wskaźniki zawartości cezu w drewnie nie przekraczają 740 Bk/kg [Korobko i in. 2005; Krasnov i in. 1998].

Radionuklidy, inkorporowane w biomasie roślinnej, nie są zagrożeniem dla człowieka, dopóki nie trafią do wnętrza organizmu. Zewnętrznego napromieniowania od zanieczyszczono-

nych drzew można nie brać pod uwagę, ponieważ taka dawka jest dziesiątki razy mniejsza od ogólnego radioaktywnego tła, nawet w tych miejscach, gdzie powierzchniowe zanieczyszczenie gleby wynosi 150 Ci/km^2 . Bardzo niebezpiecznym czynnikiem dla człowieka jest zanieczyszczenie atmosfery radioaktywnymi aerozolami podczas pożarów (zwłaszcza leśnych), a także podczas spalania drewna na otwartej przestrzeni. Wskutek tego radioaktywne pyły i aerozole mogą przenosić się na znaczne odległości, powodując wtórne zanieczyszczenie terenów. Mogą one trafiać do dróg oddechowych, a także powodować zanieczyszczenie produkcji rolniczej.

W okresie poawaryjnym pożary uszkodziły 17 tys. ha lasów strefy wyłączzonej. Wszystkie lasy o zanieczyszczeniu gleby ^{137}Cs powyżej $15,1 \text{ Ci/km}^2$ należą do klasy największego zagrożenia pożarowego. Przy gaszeniu pożarów, a także przy wykonywaniu innych prac, związanych z powstawaniem pyłu na skażonych terenach, konieczne jest wykorzystanie indywidualnych środków ochrony dróg oddechowych – respiratorów zaworowych, a w warunkach silnego zadymienia i przy poziomie zanieczyszczenia terenu $^{137}\text{Cs} > 15 \text{ Ci/km}^2$ – masek przeciwgazowych. Obowiązkowe jest prowadzenie indywidualnej kontroli dozymetrycznej wszystkich pracowników pracujących na skażonych terenach.

Gromadzenie radionuklidów w nierzewnej produkcji lasu

Wskutek zanieczyszczenia radionuklidami lasy północnych rejonów Ukrainy stały się źródłem zagrożenia ludzi zarówno przez zewnętrzne napromieniowanie wskutek wysokiego poziomu zanieczyszczenia gleby, jak i przez wewnętrzne napromieniowanie po spożyciu roślin leczniczych, jagód i grzybów.

Na początku lat dziewięćdziesiątych badano proces kumulacji ^{137}Cs w roślinach leczniczych i innej nierzewnej produkcji lasów zależnie od typów siedlisk i stopnia radioaktywnego zanieczyszczenia gleby. W wyniku badań ustalono wskaźniki gromadzenia, przejścia, a także dopuszczalne stopnie radioaktywnego zanieczyszczenia gleby dla zbioru roślin leczniczych. Ustalono, że między poziomem potencjalnej aktywności ^{137}Cs w surowcu leczniczym i parametrami sytuacji radiacyjnej istnieje ścisła relacja [Getmanchuk i in. 2002]. W okresie poawaryjnym intensywność przejścia ^{137}Cs w rośliny lecznicze i poziom ich zanieczyszczenia stopniowo zmniejszały się.

Ustalono, że najwięcej ^{137}Cs gromadzi bukwica zwyczajna *Betonica officinalis* L. i pięciornik biały *Potentilla alba* L., a najmniej – fitomasa poziomki pospolitej *Fragaria vesca* L. [Getmanchuk i in. 2002]. Największą zdolnością akumulacji elementów radioaktywnych charakteryzują się paprocie i widłaki. Rekordzistami w akumulacji i równocześnie dobrymi indykatorami zanieczyszczenia radioaktywnego są niektóre gatunki grzybów – krowiak podwinięty (olszówka) *Paxillus involutus* i borowik brunatny *Boletus badius* [Tkacz, Meshkova 2005].

Do kontroli radioaktywności surowców leśnych przy Państwowym Komitecie Gospodarki Leśnej utworzono służbę radiologiczną, w skład której wchodzi 8 specjalistycznych laboratoriów oraz inżynierowie-radiolodzy zatrudnieni w nadleśnictwach położonych na terenach skażonych. Służba radiologiczna wyposażona jest w nowoczesny sprzęt dozymetryczny i radiometryczny, posiada certyfikaty na prowadzenie badań i corocznie przeprowadza kontrolę blisko 20 tysięcy różnego rodzaju produktów leśnych. Według wyników kontroli, najbardziej zanieczyszczonymi produktami leśnymi są kolejno: grzyby, jagody, rośliny lecznicze i dziczyzna. Nawet przy małych poziomach zanieczyszczenia terenów leśnych ($0,5\text{-}1,0 \text{ Ci/km}^2$) stopień skażenia radioaktywnego grzybów i jagód przekracza dopuszczalne normy [Państwowy Komitet Gospodarki Leśnej Ukrainy].

Zasady wykonywania cięć rębnych w lasach na terenach skażonych

Specyfika gospodarczej działalności w zanieczyszczonych radionuklidami drzewostanach warunkuje konieczność stosowania takich technologicznych procesów cięć, które mogą zapewnić ograniczony udział człowieka w produkcji, minimalizację czasu jego obecności na terenach skażonych, jednocześnie, cięcia rębne powinny być skierowane na maksymalne zachowanie środowiska leśnego, wspieranie odporności drzewostanów, zapobieżenie rozprzestrzenianiu się radionuklidów poza obszar lasu.

Przy skażeniu gleby cezem powyżej 5 Ci/km² sposoby cięć rębnych powinny zapewniać utrzymanie zwarcia drzewostanów w celu przeszkodzenia pionowej i poziomej migracji radionuklidów. Najbardziej odpowiadającymi tym wymaganiom są cięcia częściowe [Orlov, Gusarevych 2005]. Stosowanie rębni zupełnych przy takim poziomie skażenia jest zalecane wyłącznie w drzewostanach z wartościowym podrostem gatunków głównych (z obowiązkowym zachowaniem podrostu) i w drzewostanach gatunków z miękkim drewnem, odnawiających się naturalnie [Buzun 2002]. Jak wynika z badań Ukraińskiego Instytutu Badawczego Leśnictwa i Melioracji Leśnej, rębnie, zwłaszcza zupełne, mogą istotnie wpłynąć na radioekologiczną sytuację na zrębach. Najbardziej szkodliwym czynnikiem w procesie cięć jest powstanie pyłu [Kyselevski, Mazepa 1991; Orlov, Gusarevych 2005], który doprowadza do gwałtownego wzrostu poziomu gamma-promieniowania. Przy pozyskaniu drewna szczególnie uszkodzane są ściółka i górne warstwy gleby, gdzie skoncentrowana jest podstawowa ilość aktywnych radionuklidów. Technologia cięć powinna przewidywać zabiegi, skierowane na zachowanie podrostu i zmniejszenie powierzchni uszkodzenia górnej warstwy gleby, zwłaszcza przy stosowaniu mechanizacji.

Znaczny wpływ na radiacyjną sytuację zrębów mają także sezon i warunki meteorologiczne przy pozyskaniu drewna. Największą radioaktywność powietrza obserwuje się w lecie przy suchej słonecznej pogodzie, najmniejszą w zimie przy dostatecznej pokrywie śnieżnej. W warunkach występującego radioaktywnego zanieczyszczenia, pozyskanie należy zatem wykonywać w śnieżnych okresach zimowych. Przy konieczności prowadzenia prac w bezśnieżny okres powinno się je wykonywać przy dżdżystej pogodzie i dostatecznym nawilżeniu gleby.

Przy wywozie ze zrębu dłużyc albo sortymentów, odbywa się eksport znacznej części aktywności ¹³⁷Cs. Kolejne radioekologiczne problemy wynikają na składnicach głównych, zwłaszcza tam, gdzie produkuje się bale albo tarcicę obrzynaną. Przy tej produkcji powstaje znaczna ilość odpadów tartacznych, w których potencjalna aktywność ¹³⁷Cs jest 1,7-2,2 razy większa, niż w całym pniu [Orlov, Gusarevych 2005]. Opady te przeważnie sprzedawane są jako drewno opałowe. Z wprowadzeniem nowych ustaw, reglamentujących zawartość ¹³⁷Cs i ⁹⁰Sr w drewnie opałowym, duża część tej produkcji nie będzie sprzedana wskutek istotnego przekraczania dopuszczalnych poziomów zawartości radionuklidów. Wynika z tego skomplikowany problem bezpiecznej utylizacji wymienionych materiałów, które przy gromadzeniu ich w lesie sprzyjają rozwojowi szkodliwych owadów.

Technologie przerobu drewna także mają zasadnicze znaczenie w zmniejszeniu poziomu radioaktywności produkcji leśnej. Na przykład, badanie dystrybucji aktywności ¹³⁷Cs w drewnie sosny i następnie badawcza przeróbka kłód na bale i deski z usunięciem kory i zewnętrznej części pnia, udowodniły możliwość prawie dwukrotnego zmniejszenia radioaktywności w deskach w porównaniu z początkowym poziomem radioaktywności w surowcu drzewnym (tab. 2). Dzięki głębokiemu technologicznemu przerobowi drewna, aktywność cezu w produktach przerobu można zmniejszyć w porównaniu do surowca 2,5-3,5 razy [Buzun 2002].

Tabela 2.

Dopuszczalne poziomy zawartości cezu 137 w drewnie [Państwowy Komitet Gospodarki Leśnej Ukrainy]
Permissible levels of ^{137}Cs accumulation in wood [The State Committee of Forest Management of Ukraine]

Sortyment drewna	Dopuszczalna aktywność cezu 137, Bk·kg ⁻¹
Drewno nieprzetworzone	
1. Drewno okrągłe	
– drewno tartaczne w korze	1500
– drewno tartaczne bez kory	1000
– surowiec okleinowy i sklejkowy	1000
– drewno średniowymiarowe dla budownictwa i przerobu przemysłowego	1500
– drewno kopalniakowe	3000
2. Drewno energetyczne	
Drewno przetworzone	
– tarcica nieobrzynana	1000
– tarcica obrzynana	740
– bale, parkiet, półfabrykаты do wyrobu mebli	740
– półfabrykаты na opakowania	1500
– deski i bale dla opakowań	1000
Produkcja gospodarczego przeznaczenia	
– drewno opałowe*	600
– sztachety	1000
– produkcja gospodarczego i bytowego przeznaczenia	740

* dla drewna opałowego limitowana jest także zawartość stronu 90 na poziomie 60 Bk·kg⁻¹

Aktualnym zadaniem jest ustalenie wieku dojrzałości drzewostanów przy poziomie zanieczyszczenia powyżej 15 Ci/km². Proponowane jest podniesienie wieku dojrzałości o 30-40 lat. Obliczono, że przez ten czas stopień zanieczyszczenia surowca drzewnego zmniejszy się do poziomu, przy którym jego wykorzystanie będzie ekonomicznie uzasadnione. Wiek dojrzałości (na Białorusi jest on nazwany radiacyjnym wiekiem dojrzałości) czasowo, do uzyskania wyników specjalistycznych badań, ustalono: dla sosny – 120, dębu – 160, brzozy – 80, olszy – 70, osiki – 60 lat [Buzun 2002].

Zasady prowadzenia cięć pielęgnacyjnych w lasach na terenach skażonych

Przy prowadzeniu cięć pielęgnacyjnych w radiacyjnie zanieczyszczonych drzewostanach zalecane jest wykorzystanie oddziałowo-blokowego sposobu organizacji cięć. W drzewostanach o poziomie zanieczyszczenia gleby ^{137}Cs 5,1-10,0 Ci/km², cięcia pielęgnacyjne prowadzone są tylko w uprawach oraz w drzewostanach gatunków o twardym drewnie, gdy nastąpiło znaczne pogorszenie ich stanu i obniżenie odporności na pożary. Cięcia pielęgnacyjne prowadzi się tylko po otrzymaniu wyników radiologicznej kontroli drewna podczas szacunków brakarskich, które są podstawą do uzyskania certyfikatu na realizację produkcji. Zakazane jest wykorzystanie opałowego drewna z cięć pielęgnacyjnych w drzewostanach sosnowych o poziomie zanieczyszczenia powyżej 5 Ci/km², a w liściastych drzewostanach – powyżej 10 Ci/km². Na powierzchniach o poziomie zanieczyszczenia gleby ^{137}Cs 10,1-15,0 Ci/km² zalecane jest prowadzenie wyłącznie cięć sanitarnych [Kyselevski, Mazepa 1991].

We wszystkich drzewostanach strefy wyłączzonej, gdzie dość długo po awarii gospodarka leśna nie była prowadzona, w szybkim tempie pogarsza się stan sanitarny lasu i zmniejsza się zasobność drzewostanów. Pogorszenie sanitarnego stanu lasu powoduje zwiększenie zagrożenia pożarowego, zagrożenie gradacjami szkodników owadzych i chorobami grzybowymi, zwłaszcza hubą korzeniową, powodowaną przez *Heterobasidion annosum*, ogólne obniżenie odporności, i produktywności lasów.

Obecnie udział drzew V-VI klasy Krafra w drzewostanach sosnowych strefy wyłączzonej wynosi 17,6%, a poza strefą – 2,3%. Udział zdrowych drzew I klasy Krafra wynosi odpowiednio 26,9%, i 34,8%. Świadczy to, że intensywność ustępowania drzew w drzewostanach sosnowych strefy wyłączzonej znacznie przekracza naturalne tempo.

Odnowienie lasu na terenach skażonych

Jedną z podstawowych dróg rehabilitacji skażonych terenów jest ich odnowienie i zalesienie. Odnowienia sztuczne stosowane są bez ograniczeń przy zanieczyszczeniu gleby ^{137}Cs do 15,0 Ci/km². Najczęściej stosowane jest sadzenie mechaniczne z ograniczeniem pielęgnacji upraw. Właściwy okres przygotowania gleby (wczesna wiosna i późna jesień) ma zapewnić minimalizację powstania pyłu. Większość upraw w strefie wyłączzonej założono według tradycyjnej technologii z przygotowaniem gleby w bruzdy albo pasy. Minimalna więźba sadzenia – 4 tys. szt/ha, na suchych siedliskach – 7-8 tys. szt/ha. Na znacznych powierzchniach stosowano siew. Uprawy mieszane, z sosny i brzozy, zakładano na powierzchniach przygotowanych całkowitą uprawą gleby według schematu na przemian 15-20 rzędów sosny zwyczajnej i 15-20 rzędów brzozy. Taki schemat sadzenia okazał się bardzo skuteczny w ograniczaniu rozwoju pożarów, które były zatrzymywane przez kulisy brzozy [Landin, Krasnov 2005].

Dość skuteczne okazało się założenie także czystych upraw brzozy, które uzupełniane są zwykle naturalnym odnowieniem sosny zwyczajnej. W przyszłości więc czyste obecnie uprawy brzozy będą typowymi dla Polesia sosnowo-brzozowymi drzewostanami. Na powierzchniach porolnych powstaje naturalne odnowienie sosny i brzozy.

Na zrębach, pożarzyskach, haliznach, terenach bagiennych i porolnych o niebezpiecznym do prowadzenia prac odnowieniowych stopniu radioaktywności, stosuje się wyłącznie odnowienie naturalne. Najbardziej skutecznym wśród zabiegów sprzyjania odnowieniu naturalnemu jest mineralizacja powierzchni gleby w pasy o szerokości 0,3-1,0 m.

Rehabilitacja radioaktywnie zanieczyszczonych lasów

Radiacyjna sytuacja w zanieczyszczonych lasach Ukrainy wskutek fizycznego rozkładu radionuklidów oraz dystrybucji ich między komponentami ekosystemów leśnych istotnie poprawiła się i ustabilizowała. Obserwowane jest stopniowe zmniejszenie gamma-promieniowania i sumarycznego poziomu radioaktywnego zanieczyszczenia ekosystemów leśnych.

Zagadnienie rehabilitacji lasów na zanieczyszczonych radionuklidami terenach trzeba rozumieć jako część ogólnego problemu rehabilitacji terenów, skażonych wskutek awarii w elektrowni atomowej i minimalizacji jej skutków. Metodologia rehabilitacji gospodarki leśnej ma opierać się na następujących zasadach [Landin, Krasnov 2005]:

- ciągła kontrola otrzymywanego napromieniowania pracowników gospodarki leśnej i miejscowej ludności wskutek działalności gospodarczej na terenach leśnych;
- kontrola zawartości radionuklidów w produkcji leśnej;
- prowadzenie trwałego monitoringu radiacyjnej sytuacji i jej prognozowanie;

- stopniowe wprowadzanie kompleksowych zabiegów rehabilitacyjnych terenów leśnych, stopniowe odnowienie działalności gospodarczej i wykorzystania produkcji leśnej na terenach zanieczyszczonych radionuklidami.

Do oceny sytuacji radiacyjnej w lasach oraz oceny efektywności proponowanych zabiegów rehabilitacyjnych wykorzystywane są następujące wskaźniki:

- stopień radioaktywnego zanieczyszczenia gleby;
- potencjalna aktywność radionuklidów w produkcji gospodarki leśnej;
- indywidualna dawka napromieniowania pracowników;
- kolektywna dawka wewnętrznego napromieniowania.

Prowadzenie gospodarki leśnej w takich warunkach wymagało stworzenia specjalistycznego systemu gospodarki leśnej, składową częścią którego jest kompleks odpowiednich zabiegów. Można je rozdzielić na aktywne, pasywne (ograniczające) i profilaktyczne [Kuchma 2005].

Realizacja aktywnych zabiegów przewiduje radykalne polepszenie sytuacji radioekologicznej. Do nich należą: usunięcie ściółki leśnej (dezaktywacja), stosowanie nawozów mineralnych i sorbujących środków, zalesienie terenów z wysokim poziomem zanieczyszczenia, głębokie przetworzenie podstawowej produkcji, przetworzenie produkcji niedrzewnej.

Pasywne zabiegi przewidują wprowadzenie różnego rodzaju ograniczeń przy pielęgnacji drzewostanów albo zakaz wykorzystania produkcji, w której zawartość radionuklidów przekracza dopuszczalne poziomy. Zaliczmy do nich: wprowadzenie zakazu zwiedzania zanieczyszczonych lasów, stosowanie ograniczeń na prowadzenie cięć pielęgnacyjnych, zabiegów sanitarnych, ustalenie ograniczeń na zawartość radionuklidów w produkcji leśnej.

Profilaktyczne zabiegi przewidują prowadzenie prac dla zapobieżenia pogorszeniu sytuacji radioekologicznej, zapobieżenia emisji radionuklidów z zanieczyszczonych terenów i nieuzasadnionego napromieniowania personelu. Do tej grupy działań należy wykonywanie przeciwpożarowych i ochronnych zabiegów, prowadzenie akcji propagandowych.

Aktywne zabiegi dają szybki efekt, ale wymagają one dużych wydatków finansowych i mogą spowodować istotne dodatkowe napromieniowanie personelu. Efektywność stosowania profilaktycznych czynności zmniejsza się z czasem, który upłynął od momentu zanieczyszczenia. Prowadzenie pasywnych zabiegów jest najbardziej efektywnym postępowaniem, chociaż ich stosowanie prowadzi do zmniejszenia liczby miejsc pracy.

Rehabilitacja radioaktywnie zanieczyszczonych terenów leśnych obecnie jest w gospodarce leśnej Ukrainy jednym z najbardziej aktualnych problemów. Postępy w rehabilitacji zanieczyszczonych terenów w wysokim stopniu zależą jednak od szybkości naturalnego rozkładu radionuklidów.

Literatura

- Buzun V. 2002. Stan i vik styglosti sosnovyh dervostaniv v zoni bezumovnoho vidselennia. Lisivnytstvo i agrolisomelioraciya 101/2002. Kharkiv. 105-109.
- Getmanchuk A. I., Krasnov V. P., Orlov O. O. 2002. Nakopychennia ¹³⁷Cs likarskymy roslynamy lisiv Polissia Ukrainy. Lisivnytstvo i agrolisomelioraciya 104/2003. Kharkiv. 33-38.
- Irkliyenko S. P., Holod M. M., Dmytrenko O. G., Orlov O. O. 2003. Dynamika vmistu ¹³⁷Cs u sosni zvychnyiy zalezchno vid shchilnosti radioaktyvnoho zabrudnennia gruntu. Lisivnytstvo i agrolisomelioraciya 104/2003. Kharkiv. 24-32.
- Kaletnyk M. M., Patlay I. M., Krasnov V. P. 1999. Osnovy lisovoi radioekologii. – Kyiv: Yarmarok. 1999.

- Korobko B. P., Lobach G. O., Tokarevski V. V., Holosha V. I. 2005. Buletен екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. Київ. 1(25).
- Krasnov V. P., Buzun V. O., Prystupa G. K. 1998. Stan i produktyvnist' sosnovykh nasadzen' svizhogo suboru na terytorii bezumovного відселення/Problemy екології лісів i лісокористування на Polissі Ukrainy/ Naukovi pratsi Poliss'koi ALNDS. – Zhytomyr: Volyn'. 5: 5-13.
- Kuchma M. D. 2005. Systema kontrzahodiv в лісовykh екосистемах, shcho zaznaly radioaktyvного забруднення. Lis, nauka, suspilstvo: Materialy міжнародної ювілейної наукової конференції, прysviаченої 75-риччю із дня заснування UkrNDILGA. Kharkiv. 74-75
- Kyselewski R. G., Mazepa M. G. 1991. Provedennia rubok dogliadu в umovah radiaktyvного забруднення лісів // Lisove gospodarstvo, лісова, paperova i derevoobrobna promyslovist'. – Kyiv. Tehnika 2: 11-12.
- Landin V., Krasnov V. 2005. Pogliad u maybutnie. Problemy реабілітації radioaktyvного забруднених лісів Ukrainy. Kharkiv. 160.
- Murahtanov E. S., Bulatny I. P., Misin S., V. 1997. Osobennosti lesnogo hoziaystva на radioaktyvno zagriaznennykh terytoriyakh, Lesnoy zhurnal. 1/2, 1997: 34-43.
- Oficjalna strona internetowa Państwowego Komitetu Gospodarki Leśnej Ukrainy.
- Orlov O. O., Gusarevych M. V. 2005. Radioekologichni problemy, poviazani z sutsilnymi rubkami в sosnovykh лісах Ukrainського Polissia. Lis, nauka, suspilstvo: Materialy міжнародної ювілейної наукової конференції, прysviаченої 75-риччю із дня заснування UkrNDILGA. Kharkiv: 2005. 26.
- UkrNDILGA [red.]. Tkacz V. P., Meshkova V. L. 2005. – Kharkiv.

SUMMARY

Forest management under radioactive contamination

Nearly 40% of Ukraine's forest resources are located in the region of Polesie which in 1986 was contaminated by radioactive effluents from the Chernobyl Nuclear Power Plant. Today, 70 Forest Districts operate in this contaminated area. Significant quantities of timber and other wood products are being harvested there. Forests occupy nearly 70% of the so-called 'excluded zone' around the power plant (with a radius of 30 km). Three types of forest management can be distinguished in this zone: controlled, limited and protective.

Forest is characterized by high sensitivity to radiation in comparison with other phytocoenoses. Such sensitivity is, in the case of coniferous stands, 5-10 fold higher than in the case of broadleaved stands. *Pinus sylvestris* L. is the species most sensitive to radiation. Contaminated soil is the main source of permanent contamination of plant biomass. The intensity with which woody plants accumulate radionuclides depends on the isotope composition of radioactive contaminants, tree species, agrochemical properties of soil and the amount of time which has passed from a radioactivity leak. Among the tissues and apparatuses of broadleaved species, wood showed the lowest levels of potential ^{137}Cs activity, while in the case of other phytomass components, such activity was reduced as follows: assimilatory apparatus > bark > branches.

Among medicinal plants, *Betonica officinalis* L. and *Potentilla alba* L. show the highest levels of accumulated ^{137}Cs , while the phytomass of *Fragaria vesca* L. - the lowest. Ferns and club-mosses, as well as some mushroom species, like *Paxilus involutus* and *Boletus badius*, feature the highest ability to accumulate radioactive elements.

In the contaminated areas, felling systems may have a great impact on the radioactive situation in cutting areas as a result of the appearance of dust which rapidly increases the Gamma-radiation level. During harvest, litter and the upper layers of soil, where the major amount of active radionuclides is concentrated, are damaged most. Thanks to the deep processing method of wood, caesium activity can be reduced 2.5-3.5 times in comparison with raw material. In improvement felling in radiation-contaminated stands, the compartment-block method for organizing cuts is recommended.

Afforestation is one of the main land reclamation methods applied in contaminated areas. Mechanical planting with limited tending is used most often there. In cutting areas, burnt, mires and post-agricultural areas with a radioactivity level dangerous to carry out regeneration operations, natural regeneration is used exclusively.

Reclamation of forest lands which have been contaminated with radioactivity is today one of the most pressing issues of Ukrainian economy.