

WOJCIECH BYCHAWSKI  
MARIA IRACKA

528.77.029.673:634.0.46

## Określanie na podstawie spektrostrefowych zdjęć lotniczych stref zagrożenia drzewostanów sosnowych będących pod wpływem szkodliwego działania zakładów przemysłowych

### 1. Zasady określania stref zagrożenia drzewostanów metodą bezpośrednią

Obowiązujące w leśnictwie pojęcie strefy zagrożenia drzewostanów powstało w związku z koniecznością przeciwdziałania szkodom wywoływanym w lasach przez zakłady przemysłowe.

Ze względu na stopień i charakter szkód wyróżnia się następujące strefy:

- wolną od uszkodzeń (strefa 0)
- słabego zagrożenia charakteryzująca się występowaniem początkowych objawów uszkodzenia aparatu asymilacyjnego drzew (strefa I)
- średniego zagrożenia, charakteryzująca się zaawansowanymi objawami uszkodzenia aparatu asymilacyjnego drzew (strefa II)
- silnego zagrożenia, charakteryzująca się silnym stopniem uszkodzenia aparatu asymilacyjnego drzew powodującym sukcesywne ich obumieranie (strefa III).

Badania są prowadzone metodą reprezentacji, na podstawie rozpoznawczych powierzchni próbnych zakładanych w przybliżonym stosunku 1 powierzchnia na ok. 50 ha lasu. Rozmieszcza się je możliwie równomiernie na inwentaryzowanym obszarze, uwzględniając jednak usytuowanie źródeł emisji, rzeźbę terenu, kierunek panujących wiatrów, charakter przeważających drzewostanów, siedlisk, wieku itp.

Przez pojęcie rozpoznawczej powierzchni próbnej rozumie się grupę drzew o określonej liczebności, które po ścięciu służą do oszacowania uszkodzeń aparatu asymilacyjnego w górnej i środkowej części korony.

W badaniach drzewostanów sosnowych będących pod wpływem działania  $SO_2$  wyróżnia się 5 (oznaczonych literami od a do e) grup zewnętrznych objawów uszkodzeń aparatu asymilacyjnego, a w każdej z nich 4 stopnie nasilenia określane liczbami 0, 1, 2 lub 3.

W grupach bada się:

- a) zmiany długości i kształtu igliwia,
- b) zmiany barwy igliwia,

- c) zmiany liczby roczników igieł na pędzie,
- d) zmiany przyrostu wysokości,
- e) zmiany żywotności drzewa (proces usychania pędów i gałęzi, przedzelenienie korony). Przyjęto, iż liczebność grupy drzew stanowiących rozpoznawczą powierzchnię próbną jest równa podwojonej liczbie grup zewnętrznych objawów uszkodzeń aparatu asymilacyjnego. Z tej zasady wynika liczebność grupy w przypadku badania sosny będącej pod wpływem  $\text{SO}_2$ . Wynosi ona 10.

Rozmiar uszkodzenia aparatu asymilacyjnego jest wyrażony w postaci przeciętnego wskaźnika uszkodzeń (nazywanego także wskaźnikiem strefy zagrożenia), którego liczbę określa się z wzoru

$$W_t = \frac{[u]_1^n}{nS} \quad (1)$$

gdzie  $u$  — suma liczb określających stopnie nasilenia (0, 1, 2 lub 3) uszkodzeń organów asymilacyjnych w każdej z  $S$  grup. Sumę taką tworzy się dla każdego z  $n$  drzew stanowiących rozpoznawczą powierzchnię próbną,

$S$  — liczba grup zewnętrznych objawów uszkodzeń.

W przypadku badania sosny będącej pod wpływem  $\text{SO}_2$ , wobec tego że  $S = 5$  i  $n = 10$ , liczbę przeciętnego wskaźnika uszkodzeń oblicza się z wzoru

$$W_t = 0,02 [u]_1^{10} \quad (2)$$

Ponieważ stopnie nasilenia uszkodzeń przyjęto określać tylko liczbami 0, 1, 2 lub 3, więc wielkość sumy  $u$  zawiera się w przedziale

$$0 \leq u \leq 15. \quad (3)$$

Wobec tego wskaźnik  $W_t$  zawiera się w przedziale liczb niemianowanych

$$0 \leq W_t \leq 3. \quad (4)$$

Wielkość wskaźnika uszkodzeń  $W_t$  decyduje o przyporządkowaniu drzewostanu reprezentowanego przez rozpoznawczą powierzchnię próbną do jednej ze stref zagrożenia wg następującego kryterium:

$$\begin{aligned} W_t \leq 0,5 & \text{ — strefa 0} \\ 0,5 < W_t \leq 1,5 & \text{ — strefa I} \\ 1,5 < W_t \leq 2,5 & \text{ — strefa II} \\ 2,5 < W_t & \text{ — strefa III} \end{aligned} \quad (5)$$

Przedstawienie ogólnych zasad określania stref zagrożenia drzewostanów obecnie obowiązującą metodą badań terenowych ma na celu zwrócenie uwagi na ważne, z punktu widzenia fotointerpretacji, wnioski a mianowicie:

1. Jedyłą miarą przyporządkowującą drzewostan do określonej strefy zagrożenia jest stan aparatu asymilacyjnego w górnej i środkowej części korony,

2. Podział na strefy jest umowny, a jako taki może być zmieniany w miarę postępu prac badawczych prowadzonych przez leśników uściślających znaczenie gospodarcze faktu przynależności drzewostanu do określonej strefy.

3. Szczegółowość badań terenowych przy założeniu, że jedna rozpoznawcza powierzchnia próbna reprezentuje 50 ha lasu jest bardzo mała.

## **2. Istota fotointerpretacyjnej metody określania stref zagrożenia drzewostanów sosnowych**

Podstawą rozwiązań mających na celu stworzenie koncepcji fotointerpretacyjnej metody określania stref zagrożenia drzewostanów są wnioski sformułowane w poprzednim rozdziale.

W pierwszym z wniosków stwierdzono, że jedyną i wystarczającą miarą przyporządkowującą drzewostan do określonej strefy zagrożenia jest — zdaniem nauk leśnych — stan aparatu asymilacyjnego w górnej i środkowej części korony. Ten fakt ma istotne znaczenie z punktu widzenia fotointerpretacji ponieważ obraz lasu na zdjęciu lotniczym jest utworzony przez promieniowanie słoneczne odbite w głównej mierze właśnie od aparatu asymilacyjnego górnej i środkowej części korony. Istnieje zatem zbieżność źródeł informacji o lesie danych leśnikowi badającemu las z ziemi i fotointerpretatorowi badającemu zdjęcie lotnicze lasu.

Ta zbieżność upoważnia do poszukiwania związku między informacją o lesie otrzymaną w wyniku badań bezpośrednich a tą, która jest zawarta w lotniczym zdjęciu lasu. Miarą informacji o lesie, zdobytej metodą badań terenowych, jest — w tym przypadku — liczbowy wskaźnik uszkodzeń  $W_t$ . Pozostaje zatem do rozważenia kwestia określenia zasobu, a w perspektywie znalezienia wyrazu (miary) informacji możliwych do wydobycia z lotniczego, w tym przypadku ze spektrostrefowego zdjęcia drzewostanu sosnowego.

Znalezienie związku korelacyjnego między określonym w terenie liczbowym wskaźnikiem uszkodzeń  $W_t$  a właściwymi informacjami o lesie uzyskanymi ze zdjęć lotniczych upoważnia do sprecyzowania istoty metody fotointerpretacyjnej. Polega ona na stworzeniu możliwości scharakteryzowania dowolnego fragmentu drzewostanu liczbą wskaźnika uszkodzeń drzewostanu  $W_f$ , którego wielkość będzie taka, jaka byłaby gdyby ten fragment drzewostanu został scharakteryzowany na podstawie badań

terenowych liczbą wskaźnika  $W_t$ . Oznacza to, że metoda fotointerpretacyjna jest metodą dogęszczenia sieci rozpoznawczych powierzchni próbnych. W ten sposób można z dowolną szczegółowością wskazywać rozmieszczenie w drzewostanie takiej treści przyrodniczej, jaka została zakodowana przez leśników w postaci liczby wskaźnika uszkodzeń drzewostanu.

Tak sformułowanej istoty metody fotointerpretacyjnej nie narusza zasada umowności przyjętych kryteriów podziału na strefy zagrożenia. Pozostawia się tym samym swobodę dokonywania przez leśników zmian zarówno kryteriów podziału na strefy jak i nawet swobodę dokonywania zmiany treści przyrodniczej wyrazu liczbowego wskaźnika uszkodzeń  $W_t$  pod warunkiem zachowania źródła informacji, którym musi pozostać stan aparatu asymilacyjnego lub parametry silnie z nim korelujące.

Dogęszceniowy charakter metody fotointerpretacyjnej określaniu stref zagrożenia praktycznie usuwa zasadniczy mankament metody bezpośredniej wynikający z jej małej szczegółowości. Ta kwestia będzie jeszcze omawiana.

### **3. Zasób i wyraz informacji o stanie aparatu asymilacyjnego sosny możliwych do otrzymania w wyniku interpretacji spektrostrefowych zdjęć lotniczych**

Cechą szczególną spektrostrefowego zdjęcia lotniczego lasu są barwy obrazów koron drzew. Są one wynikiem nałożenia się na siebie informacji o ilości wybranych zakresów promieniowania słonecznego odbitego od korony. Używany przez nas film spektrostrefowy Kodak Aerochrome IR ma jak wiadomo trzy warstwy, z których dwie są uczulone na promieniowanie widzialne (czerwone i zielone) a jedna na promieniowanie niewidzialne (podczerwone). Chcąc wykorzystać informacje zawarte w zdjęciu spektrostrefowym trzeba mieć na uwadze proces tworzenia się barwy.

Z całego strumienia słonecznego promieniowania elektromagnetycznego odbitego od korony drzewa film spektrostrefowy „wybierze” tylko trzy zakresy (zielony, czerwony i podczerwony) ignorując pozostałe. A więc już w procesie naświetlenia filmu następuje wyselekcjonowanie informacji z zachowaniem tylko tych, których nośnikiem są promienie zielone, czerwone i podczerwone. Wybór tych właśnie zakresów spektrum nie jest przypadkowy bowiem rodzina krzywych spektralnych charakteryzujących odbicie światła od zielonych części różnych roślin ma jedną wspólną cechę: dwa maksima odbicia; w zieleni i około trzykrotnie więk-

sze w podczerwieni oraz jedno minimum w zakresie fal czerwonych. Dzięki temu zbiór informacji o koronie drzewa zawarty w obrazie spektralnym jest zdeterminowany w głównej mierze obecnością aparatu asymilacyjnego.

Barwy obrazu na zdjęciu spektrostrefowym nie mogą być barwami naturalnymi ponieważ są wynikiem wizualizacji obrazu utworzonego przez odbite promieniowanie podczerwone, które jako nie odbierane zmysłem wzroku nie ma swojej barwy. Trzeba było zatem obrazowi utworzonemu w podczerwieni nadać jakąś barwę umowną. Skoro tak, to barwy obrazów w zakresie widzialnym też nie mogą już zachować własnej naturalnej barwy.

Film spektrostrefowy Kodak Aerochrome IR jest tak skonstruowany, że obraz utworzony w warstwie uczulonej na promienie zielone jest zabarwiony na żółto, w warstwie uczulonej na promieniowanie czerwone jest zabarwiony na purpurowo, a obraz utworzony w warstwie uczulonej na podczerwień ma barwę niebiesko-zieloną. W efekcie otrzymuje się w każdym punkcie obrazu nałożone na siebie trzy filtry subtraktywne; żółty, purpurowy i niebiesko-zielony. Filtr subtraktywny ma tę szczególną własność, że z padającego na nie światła białego — które może być traktowane jako suma światła zielonego, niebieskiego i czerwonego — eliminuje w określonej proporcji jedną z jego składowych.

I tak:

— filtr subtraktywny purpurowy eliminuje ze światła białego światło zielone a więc zamienia światło białe na niebieskie i czerwone,

— filtr subtraktywny żółty eliminuje światło niebieskie przepuszczając zielone i czerwone,

— filtr subtraktywny niebiesko-zielony eliminuje światło czerwone przepuszczając niebieskie i zielone. Zdolność do absorbowania przez każdy z tych filtrów wymienionej, właściwej mu barwy, jest odwrotnie proporcjonalna do ilości światła o określonej długości fali padającego na warstwę filmu uczuloną na światło o tej właśnie długości fali. Bliższe wyjaśnienie tego ważnego stwierdzenia ułatwi przykład:

Drzewo zdrowe, z prawidłowo rozwiniętym aparatem asymilacyjnym — jak to wiadomo z badań spektrometrycznych — odbija dużo promieni podczerwonych, mniej więcej trzykrotnie mniej promieni zielonych i jeszcze nieco mniej czerwonych. W takich to proporcjach zostaną naświetlone emulsje poszczególnych warstw filmu. W wyniku wywołania w procesie odwracalnym najjaśniejszy będzie filtr niebiesko-zielony, około trzykrotnie bardziej gęsty będzie filtr żółty i nieco bardziej od niego gęsty filtr purpurowy. Pojęcie gęstości każdego z tych filtrów, a więc i zdolności do absorbowania dotyczy oczywiście tylko im właściwego świa-

ła. Do oka obserwatora oglądającego diapozytyw oświetlony światłem białym dotrze obraz, którego barwa będzie wypadkową działania trzech filtrów subtraktywnych. Bardzo przeźroczysty filtr niebiesko-zielony zatrzyma tylko trochę światła czerwonego. Na filtr żółty padnie zatem w nie zmienionej ilości światło niebieskie i zielone i nieco osłabione czerwone.

Filtr żółty zatrzyma mniej więcej trzykrotnie więcej światła niebieskiego nie reagując na światło czerwone i zielone. Na filtr ostatni, purpurowy, padnie więc światło zielone, nieco osłabione czerwone i trzykrotnie bardziej osłabione niebieskie. Filtr purpurowy osłabi silnie światło zielone, nie reagując na pozostałe padające nań składowe światła białego. Ostatecznie do oka obserwatora dotrze w przewodzie światło czerwone z domieszką niebieskiego i zielonego.

Jeżeli aparat asymilacyjny ulegnie redukcji lub przebarwieniu, zmienia się proporcje odbicia w poszczególnych zakresach spektrum. Zmniejszy się ilość odbitego światła zielonego i promieni podczerwonych i zwykle zwiększy się odbicie w zakresie czerwieni. Poszczególne filtry powstałe w wyniku wywołania filmu zmieniają swoje własności a więc zmieni się także barwa diapozytywu oglądanego w białym świetle. Filtry żółty i niebiesko-zielony pochłoną więcej niż poprzednio światła niebieskiego i czerwonego, natomiast filtr purpurowy przepuści więcej światła zielonego. W efekcie redukcja aparatu asymilacyjnego lub jego przebarwienie spowodują, że barwa obrazu korony na filmie spektrostrefowym zmieni się z czerwonej z domieszką niebieskiej i zielonej na zieloną z domieszką czerwonej i niebieskiej.

Podane przykłady tworzenia się spektrostrefowego obrazu korony drzewa uzasadniają tezę o istnieniu ogólnej zależności między barwą obrazu a charakterystyką spektralną organów asymilacyjnych.

W przypadku zdjęcia lotniczego, zwłaszcza sosny, trzeba jednak mieć na uwadze proces generalizacji towarzyszący tworzeniu się obrazu. W wyniku tego procesu punktowi na obrazie odpowiada pewna elementarna powierzchnia korony, której wielkość zależy od skali zdjęcia. Barwa takiego punktu zawiera zatem w sobie informacje, których źródłem jest promieniowanie odbite od wszystkich elementów przypowierzchniowej warstwy korony ograniczonej wielkością powierzchni elementarnej. Charakterystyka spektralna takich powierzchni może być różna w zależności od rozmieszczenia igieł zarówno w przypowierzchniowej warstwie jak i w głębi korony sosny. Tam, gdzie w przewodzie występuje zielone igliwie krzywa spektralna odbicia zachowa kształt typowy dla zielonych części roślin. W miejscach, gdzie igieł ubył charakterystyka spektralna powierzchni elementarnej ulegnie zmianie, jako że odbicie światła będzie teraz następowało również w głębszych warstwach korony, najczęściej od

kory gałęzi. Zmiana charakterystyki odbicia nastąpi także tam, gdzie w przewodzie występuje igliwie przebarwione.

Chcąc zatem wydobyć z lotniczego obrazu korony sosny zarejestrowane tam informacje, należy traktować obraz jako zbiór różnobarwnych, a więc różnoodcieniowych punktów, które w sumie charakteryzują barwę korony drzewa.

Hipoteza o istnieniu zależności między barwą obrazu korony drzewa na zdjęciu spektrostrefowym a stanem aparatu asymilacyjnego będzie mogła być zweryfikowana i wykorzystana dopiero wtedy, gdy będzie można wyrazić barwę w postaci liczby. Dopiero wtedy będzie można poszukiwać korelacji między nią a przeciętnym wskaźnikiem uszkodzeń ( $W_t$ ) przedstawionym, jak wiadomo, również w postaci liczby.

Z doświadczenia wiadomo, że przedział barw od typowej dla obrazu korony zdrowej sosny do charakterystycznej dla obrazu sosny martwej może być przez wprawnego obserwatora podzielony na cztery części. Wiadomo również, że obserwując model stereoskopowy można oszacować jaką część powierzchni obrazu korony zajmuje każda z tych czterech barw.

W efekcie obraz korony każdego drzewa może być scharakteryzowany dwoma szeregami liczbowymi, których elementy odpowiednio sobie odpowiadają a mianowicie:

1. Szereg liczbowy oznaczający nazwy wyróżnialnych barw  $N_1, N_2, N_3, N_4$ .

2. Szereg liczbowy, którego elementy  $p_1, p_2, p_3, p_4$  oznaczają jaką część powierzchni obrazu korony drzewa zajmują poszczególne barwy.

Pierwszy z tych szeregów składa się z oznaczeń liczbowych będących raz przyjętą umową natomiast drugi ( $p_1, p_2, p_3, p_4$ ) powstaje w wyniku obserwacji, a więc może być różny dla różnych drzew. W tym opracowaniu przyjęto barwę typową dla obrazu martwej sosny oznaczać symbolem  $N_1$  i liczbą 1. Wobec tego barwą typową dla obrazu korony zdrowej sosny oznaczono symbolem  $N_4$  i liczbą 4.

Pozostałe dwie możliwe do wyróżnienia barwy ( $N_2$  i  $N_3$ ) oznaczające stan aparatu asymilacyjnego pośredni między sosną martwą i zdrową przyjęto oznaczać odpowiednio liczbami 2 i 3.

Obserwowane wielkości  $p_1, p_2, p_3, p_4$  wyrażono liczbami naturalnymi w przedziale od 1 do 10 z obowiązkiem zachowania kryterium  $[p] = 10$ . To założenie oznacza, że każda z liczb  $p_i$  określa w dziesiątkach procentów udział powierzchni zajętej przez odpowiadającą tej liczbie barwę  $N_i$  w ogólnej powierzchni obrazu korony sosny.

O barwie obrazu całej korony drzewa (B) decydują barwy składowe ( $N_i$   $i = 1, 2, 3, 4$ ) akcentując swój wpływ proporcjonalnie do zajmowanej

przez siebie powierzchni. Zatem wyrazem barwy całej korony jest ogólna średnia arytmetyczna (średnia ważona), której wielkość, wobec przyjętych kryteriów i założeń, określa wzór:

$$B = 0,1 (p_1 + 2p_2 + 3p_3 + 4p_4) \quad (6)$$

Jeżeli w obrazie korony sosny obserwator znajduje tylko barwę charakterystyczną dla drzewa martwego, wówczas wynik obserwacji określa ciąg liczbowy

$$p_1 = 10 \quad p_2 = p_3 = p_4 = 0$$

Oznaczenie barwy w takim przypadku określa zgodnie z (6) liczba  $B = 1,00$ . Podobnie w przypadku zdrowej sosny, wobec  $p_1 = p_2 = p_3 = 0$ ,  $p_4 = 10$ , oznaczenie barwy  $B = 4,00$ . Oba te wyniki są zgodnie z przyjętymi założeniami o znaczeniu skrajnych barw przyjętego przedziału ( $N_1 - N_4$ ). Wszystkie inne kombinacje liczb  $p$  umożliwiają obliczenie oznaczenia barwy  $B$  w postaci liczby ułamkowej w przedziale od 1,00 do 4,00.

Oznaczenie barwy  $B$  (wzór 6) jest podstawową informacją jaką można uzyskać ze spektrostrefowego zdjęcia lotniczego o stanie aparatu asymilacyjnego w górnej i środkowej części korony drzewa. Dzięki niemu można rozróżniać poszczególne drzewa z punktu widzenia ich zdrowotności. Liczbowy wyraz tego oznaczenia pozwala wykorzystywać metody matematyczne w celu określenia związku między lotniczym spektrostrefowym zdjęciem lasu a liczbowym wyrazem stopnia zagrożenia drzewostanu określonym w terenie w postaci wskaźnika  $W_t$  (wzór 1).

Jak wynika z przeprowadzonego wyprowadzenia wzoru (6) oznaczenie barwy  $B$  jest wyrażone w umownych jednostkach, którymi są nazwy ( $N$ ) możliwych do wyróżnienia przez obserwatora barw (w tym przypadku  $N = 1, 2, 3, 4$ ).

Chcąc uwolnić się od skutków przyjętej umowy a tym samym umożliwić, w miarę potrzeby, jej zmianę dobrze jest operować innym określeniem, nazwanym wskaźnikiem barwy  $b$ , który wskazuje położenie oznaczenia barwy obserwowanego drzewa przedziale liczb od 0 do 1.

Zależność między oznaczeniem barwy ( $B$ ) a wskaźnikiem barwy ( $b$ ) można zapisać następująco:

$$b = \frac{B - N_1}{N_n - N_1} \quad (7)$$

gdzie  $B = \frac{[P_i N_i]_{i=1}^n}{[P_i]_{i=1}^n}$  — oznaczenie barwy korony drzewa  $i = 1$ ,

$N_1, N_n$  = nazwy (miana liczbowe) barw otwierającej i zawierającej przedział wyróżnialnych barw,

$p_i$  — szacowany w trakcie obserwacji procentowy, udział powierz-



chni zajętej przez barwę  $N_i$  ogólnej powierzchni obrazu korony drzewa,

$n$  — liczba wyróżnialnych przez obserwatora barw.

Znaczenie krańców stałego przedziału wskaźnika  $b$  zależy od przyjętego znaczenia krańców przedziału oznaczenia barwy  $B$ . W zależności od tego wskaźnik barwy może oznaczać wzrastającą lub pogarszającą się kondycję aparatu asymilacyjnego drzewa.

Jeżeli przyjmie się — o czym była mowa — że barwą otwierającą przedział ( $N_1 = 1$ ) będzie barwa typowa dla martwej sosny a zamykającą ( $N_4 = 4$ ) będzie charakterystyczna dla sosny zdrowej, to zgodnie z (7) można zapisać:

— dla sosny martwej (wobec  $B_1 = 1$ );  $b = 0$

— dla sosny zdrowej (wobec  $B_4 = 4$ );  $b = 1$

W takiej sytuacji wzrostowi wielkości wskaźnika  $b$  będzie towarzyszył wzrost kondycji aparatu asymilacyjnego. Zmianę znaczenia wzrostu wielkości wskaźnika można uzyskać albo zmieniając znaczenie krańców przedziału liczb  $N$  albo też obliczając dopełnienie wskaźnika  $b$  do jedności. Ta kwestia nie ma praktycznego znaczenia wówczas, gdy wskaźnik barwy będzie traktowany jako zmienna zależna w procesie korelowania informacji wziętych ze zdjęcia lotniczego z liczbowymi informacjami o ich treści przyrodniczej. Ewentualna niezgodność znaczenia wzrostu zmiennych biorących udział w określaniu postaci równania regresji zostanie uwzględniona i wykazana zmianą znaku współczynnika korelacji. Znajomość znaczenia wzrostu wielkości wskaźnika barwy jest jednak potrzebna wtedy, gdy będzie on wykorzystywany do badania zmian zdrowotności określonego drzewostanu.

Wskaźnik barwy obrazu jest podstawową informacją liczbową o stanie aparatu asymilacyjnego drzewa wybranego na stereogramie i tylko jego dotyczy. Chcąc w ten sposób charakteryzować drzewostan, należy operować średnią wielkością wskaźnika barwy obliczoną dla grupy drzew traktowaną jako próbę losową pobraną (bez zwracania) z drzewostanu.

Chcąc, aby średni wskaźnik barwy próby reprezentował populację generalną, którą w tym przypadku jest drzewostan, należy określić minimalną liczebność próby przy założonej precyzji i wiarygodności. Poszukiwaną wielkość określa zależność

$$n = \frac{t^2 \delta^2 N}{(N-1)\Delta^2 + t^2 \delta^2} \quad (8)$$

gdzie  $n$  jest minimalną liczebnością próby, której średnia o odchyleniu standardowym  $\delta$  szacuje przeciętną wielkość wskaźnika barwy drzewostanu o liczbie drzew  $N$  z precyzją  $\Delta$  i z wiarygodnością  $2 \Phi(t)$ .

Odchylenie standardowe wielkości wskaźnika barwy grup drzew sta-

nowiących próbę losową jest miarą zróżnicowania osobniczego tej grupy drzew. Wielkość tego odchylenia określona empirycznie z obserwacji 1000 drzew (100 grup po 10 drzew) wynosi  $\delta = \pm 0,13$  (w jednostkach wskaźnika barwy).

Pożądana precyzja  $\Delta$  jest związana z wielkością średniego błędu określenia wskaźnika barwy ( $m_b$ ) oraz ze średnim błędem średniej arytmetycznej wielkości wskaźnika barwy grupy drzew stanowiących próbę ( $m_s$ ). Jest uzasadnione przyjęcie wielkości precyzji określonej równością

$$\Delta = 2 |m_s| \quad (9)$$

pod warunkiem, że  $|m_b| < |m_s|$

Wielkość  $m_s$ , wobec tego że  $\delta = \pm 0,13$  została wyznaczona jako przeciętna z obserwacji grup drzew o liczebności  $k = 10$  wynosi

$$m_s = \frac{\delta}{\sqrt{K}} = \frac{0,13}{\sqrt{10}} = 0,04$$

Dokładność określenia wskaźnika barwy  $m_b$  wyznaczona empirycznie na podstawie bogatego liczebnie materiału doświadczalnego wynosi  $m_b = \pm 0,06$  jednostek przedziału wielkości  $b$  ( $0 \div 1$ ). Wynika z tego, że jest uzasadnione przyjęcie precyzji

$$\Delta = 2 |m_s| = 0,08$$

Parametr  $t$  występujący we wzorze (8) jest związany z pożądaną wiarygodnością próby. W praktyce wielkość  $t$  dla wybranej wartości wiarygodności  $2 \Phi(t)$  znajduje się na podstawie stabilizowanych wartości całki Laplace'a. Jeżeli przyjmie się wiarygodność  $2 \Phi(t) = 0,95$ , to  $t = 2$ . Takie założenie oznacza, że w 95 przypadkach na 100 średnia arytmetyczna wskaźnika barwy określona z próby o liczebności  $n$  nie będzie różniła się od średniej arytmetycznej wskaźnika barwy dla populacji generalnej o liczebności  $N$  o więcej niż  $\Delta = 0,08$  jednostki wskaźnika barwy, a więc będzie ją właściwie charakteryzowała.

Wyznaczanie stref zagrożenia dokonuje się w zasadzie dla drzewostanów w wieku od 40 do 80 lat. Z wystarczającą dla dalszych rozważań dokładnością można przyjąć, że liczba pni na 1 hektar tworzących drzewostan główny w tym przedziale wieku wynosi 1000. Jeżeli zatem drzewa tworzące drzewostan główny na powierzchni 1 ha uzna się za populację generalną, to wobec  $N = 1000$ ,  $\delta = 0,13$  i  $\Delta = 0,08$  liczebność próby wg (8) wynosi

$$n = 10,46 \approx 10$$

Oznacza to, że badając omawianą metodą drzewostany znajdujące się pod wpływem emisji przemysłowych wystarczy określać wskaźnik barwy  $b$

jako średni z obserwacji 10 drzew na 1 ha lasu. Ten dość szczegółowy wywód ma na celu udowodnienie, że aczkolwiek wskaźnik barwy dotyczy obrazu korony pojedynczego drzewa, to jednak może on być reprezentantem drzewostanu.

Całe rozumowanie dotyczące wykorzystywania wskaźnika barwy do określenia stref zagrożenia drzewostanów opiera się na istnieniu teoretycznie uzasadnionego związku między takim wskaźnikiem a stanem aparatu asymilacyjnego drzewa. Była również mowa o tym, że skoro taki związek istnieje, to jest słuszne poszukiwanie matematycznej zależności między liczbą wskaźnika barwy ( $b$ ) a liczbą wskaźnika uszkodzeń ( $W_t$ ) określaną w terenie. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę z tego, że wskaźnik uszkodzeń ( $W_t$ ) jest liczbową syntezą pięciu parametrów mających swą treść przyrodniczą (długość i kształt igliwia, barwa igieł, liczba roczników na pędzie, przyrost wysokości i żywotność drzewa). Wskaźnik barwy obrazu korony drzewa ( $b$ ) ma również charakter informacji syntetycznej.

Poszukiwanie związku korelacyjnego między tak syntetycznymi wskaźnikami, aczkolwiek uzasadnione, to jednak nie powinno być traktowane jako postępowanie doskonałe. Lepsza z punktu widzenia opisanego zjawiska byłaby korelacja wielokrotna opisująca związki między wymienionymi parametrami wskaźnika uszkodzeń ( $W_t$ ) a odpowiadającymi im informacjami wydobytymi ze zdjęcia. Jak dotąd nie jest to jednak możliwe. Nie można bowiem ustalić w jakich proporcjach zmienność poszczególnych parametrów wskaźnika ( $W_t$ ) wpływa na zmienność wskaźnika barwy i odwrotnie; nie można dokonać podziału znaczenia liczby wskaźnika barwy na części odpowiadające wpływom poszczególnych parametrów wskaźnika uszkodzeń.

Te spostrzeżenia nie dyskwalifikują zasady korelowania wskaźników  $W_t$  i  $b$  w ich syntetycznej postaci, natomiast skłaniają do poszukiwania innych, oprócz wskaźnika barwy, informacji zawartych w treści zdjęcia spektrostrefowego, które powinny również świadczyć o zdrowotności drzewostanu.

Szukając możliwości wzbogacenia informacji o stanie zdrowotnym drzewostanu można zauważyć, że piąty z wymienionych parametrów wskaźnika uszkodzeń  $W_t$  (świadczący o żywotności drzewa) może mieć swój odpowiednik w zbiorze informacji zawartych w zdjęciu nieomalże niezależnie od wskaźnika barwy  $b$ . Jak wiadomo przez pojęcie zmiany żywotności drzewa jest tu rozumiany proces usychania pędów i gałęzi. Informacja o tym procesie jest zawarta w liczbie wskaźnika barwy, a świadczy o nim udział powierzchni obrazu korony drzewa odfotografowany w barwie typowej dla obrazu martwej sosny w ogólnej powierzchni obrazu korony drzewa. Było to już szczegółowo wyjaśnione przy

omawianiu zasady tworzenia oznaczenia i wskaźnika barwy. Gdyby jednak chcieć tę informację wyeksponować należałoby zmienić liczebność próby losowej pobieranej z drzewostanu dla scharakteryzowania wskaźnika barwy populacji generalnej. Liczebność próby musiałaby być w takim przypadku przynajmniej pięciokrotnie większa, a proces usychania pędów i gałęzi byłby w dalszym ciągu charakteryzowany jedynie statystycznie. Ponieważ jednak martwe gałęzie, a nawet pędy są dobrze widoczne na zdjęciu spektrostrefowym w skali około 1:6 000 zdecydowano, iż proces usychania drzew a więc zmiana ich żywotności będzie określana nowym wskaźnikiem charakteryzującym populację generalną a więc badany drzewostan.

Wskaźnik ten, nazywany dalej wskaźnikiem uszkodzeń częściowych ( $u$ ) mówi o tym, jaki procent ogólnej liczby drzew tworzących drzewostan główny na badanej powierzchni stanowią drzewa, które w górnej i środkowej części korony mają martwe gałęzie lub pędy.

Wprowadzenie nowego wskaźnika czyni, iż drzewostan badany metodą interpretacji spektrostrefowych zdjęć lotniczych jest charakteryzowany dwoma parametrami:

a) parametrem szczególnym grupie 10 drzew stanowiących próbę losową (powierzchnię próbną) charakteryzującą drzewostan o powierzchni około 1 hektara (wskaźnik barwy),

b) parametrem ogólnym, wspólnym dla wszystkich powierzchni próbnych charakteryzujących drzewostan na całej badanej powierzchni (wskaźnik uszkodzeń częściowych).

Tak więc zbiór informacji o stanie zdrowotnym drzewostanu określany w wyniku interpretacji spektrostrefowych zdjęć lotniczych jest utworzony z dwóch podzbiorów, których wyraz liczbowy — z racji charakterystyki filmu spektrostrefowego i przyjętego sposobu interpretacji zdjęć — ma cechy upoważniające do poszukiwania związku korelacyjnego z liczbą wskaźnika uszkodzeń

$$W_t = f(b, u)$$

#### **4. Wyznaczanie wskaźnika uszkodzeń drzewostanów na podstawie spektrostrefowych zdjęć lotniczych oraz określanie granic stref zagrożenia**

Pierwszym warunkiem koniecznym do określenia postaci związku korelacyjnego  $W = f(b, u)$  jest znajomość wskaźnika  $W_t$  w przedziale wielkości występujących na danym terenie. Mówiąc mniej precyzyjnie lecz bardziej obrazowo chodzi o to, aby przed przystąpieniem do opracowania

zdjęć dysponować wielkościami wskaźnika uszkodzeń  $W_t$  określonymi w terenie, w każdej z występujących tam stref zagrożenia.

Drugim warunkiem koniecznym jest określenie wskaźnika barwy  $b$  średniego dla każdej grupy 10 drzew w miarę możliwości tych samych, które posłużyły do określenia wskaźników  $W_t$ , oraz określenie wskaźników częściowych uszkodzeń drzewostanów reprezentowanych przez terenowe powierzchnie próbne.

W efekcie otrzymuje się trzy odpowiadające sobie zbiory liczbowe tworzące tabelę typu

$$\begin{array}{ccc} b_1, & u_1, & W_{t1} \\ b_2, & u_2, & W_{t2} \\ \hline b_m & u_m & W_{tm} \end{array}$$

gdzie  $m$  jest liczbą terenowych powierzchni próbnych. Ta tabela umożliwia obliczenie współczynników równania regresji opisującego zależność typu  $W_f = f(b, u)$ .

W zasadzie nie istnieją przesłanki pozwalające apriori określić typ równania regresji. Uzasadnione wydaje się tylko mniemanie, że rosnącej wielkości  $W_t$  powinna towarzyszyć malejąca wielkość  $b$  i rosnąca  $u$ . Wskazane jest zatem wybieranie poszukiwanej funkcji z rodziny linii opisywanych wielomianem. Pomocą w poszukiwaniu przybliżonego kształtu linii regresji (w więc i stopnia wielomianu) są wykresy sporządzane w układach  $W_t, b$  oraz  $W_t, u$ . Określanie postaci równania regresji, jak to zwykle bywa przy rachunkach korelacyjnych, musi się odbywać drogą kolejnych prób z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów.

Przystępując do czynności rachunkowych trzeba mieć na uwadze dwie istotne kwestie. Jedna z nich dotyczy liczby  $m$  terenowych powierzchni próbnych, a druga kryterium sygnalizującego odnalezienie właściwej postaci równania regresji, a więc zakończenia obliczeń.

Liczba  $m$  terenowych powierzchni próbnych zależy od typu wielomianu opisującego zależność korelacyjną. Należy dążyć do tego, aby ta liczba była około dwukrotnie większa od liczby poszukiwanych współczynników ( $A$ ) równania regresji. Z dotychczasowej praktyki wynika, że poszukiwaną zależność dostatecznie dobrze opisuje wielomian typu

$$W_f = A_1 b^{k1} + A_2 b^{k2} + A_3 u^{k3} + A_4 u^{k4} + A_5$$

gdzie  $k$  są przyjętymi wykładnikami potęg wielomianu. Traktując taki wielomian jako wystarczająco liczebny we współczynniki można przyjąć, że wymagana liczba terenowych powierzchni próbnych wynosi  $m = 10$ .

Kryterium sygnalizujące odnalezienie właściwej postaci równania regresji jest związane zwłaszcza z wielkością błędu określenia wolnego wyrazu  $W_t$ . Gdyby między wielkościami  $b$ ,  $u$  i  $W_t$  była zależność funkcyjna,

wówczas wielkość  $W_f$  obliczona z określonego już równania byłaby równa wielkości  $W_t$  określonej w terenie i uczestniczącej w postaci wolnego wyrazu w wyznaczeniu kształtu funkcji. Ponieważ mamy do czynienia z zależnością korelacyjną, to obliczone z równania wielkości  $W_f$  będą nieco różne od odpowiadających im wielkości  $W_t$ . Dla każdego z równań rozwiązane układu można zatem obliczyć wielkość

$$W_{fi} = f(A_1, A_2, \dots, A_m, b_i, u_i)$$

oraz różnicę

$$v = W_{fi} - W_{ti} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

Wielkości  $v$  są miarą opisaną przez równanie regresji o określonych współczynnikach od  $A_1$  do  $A_m$  związku między zmienną zależną  $W_f$  a zmiennymi niezależnymi  $b$  i  $u$ . Kryterium, o którym mowa, można zapisać w postaci nierówności

$$\left| \frac{\overline{[vv]}}{m-1} \right| = |m_{W_f}| \leq |m_{W_t}|; |v_i| < 2|m_{W_t}| \quad (10)$$

gdzie  $m_{W_t}$  jest wielkością średniego błędu określenia wskaźnika uszkodzeń  $W_t$ .

Wskaźnik uszkodzeń  $W_t$  jest jak wiadomo określany jako średnia arytmetyczna z 50 wielkości (5 grup uszkodzeń  $\times 10$  drzew próbnych). Każda z tych wielkości może być wyrażona w wyniku oszacowania jedną z liczb całkowitych w przedziale obustronnie zamkniętym od 0 do 3. Z istoty rzeczy wynika, że osoba szacująca może obarczyć każdy z tych parametrów błędem równym 1. Skoro tak, to błąd określenia liczby wskaźnika  $W_t$  liczony jako błąd sumy wyraża się wielkością

$$m_{W_t} = \frac{1 \cdot 50}{50} = 0,14$$

Poszukiwanie postaci równania regresji można zatem zakończyć i uznać za ostateczne, jeżeli wartość bezwzględna obliczonej na jego podstawie wielkości  $m_{W_f}$  (10) jest mniejsza lub równa 0,14 i żadna z wielkości  $|v_i|$  nie jest większa od 0,28.

Znając postać równania regresji spełniającą kryterium (10) należy — dla każdej grupy 10 drzew, dla której określono na podstawie zdjęć wielkości  $b$  i  $u$  — obliczyć wielkość  $W_f$ . Wielkości te, wobec wcześniejszego ich skorelowania z wielkościami  $W_t$  wyznaczonymi w terenie, mogą być traktowane jako wskaźniki uszkodzeń przemysłowych o takiej samej treści przyrodniczej jaką by miały, gdyby były wyznaczone na podstawie badań terenowych. Można zatem na podstawie wielkości  $W_f$  porządkowywać drzewostany do właściwej strefy zagrożenia zgodnie z przyjętymi w leśnictwie zasadami podanymi we wzorze (5).

Sporządzenie mapy strefy zagrożenia jest już teraz prostą czynnością, nie wymagającą szczegółowego omówienia. Sposób postępowania nie odbiega bowiem od zwykle stosowanego przy wykreślaniu izolinii w wyniku interpolacji liniowej między punktami o określonych wielkościach wartości wyrażonych izoliniami.

## 5. Wskazówki technologiczne

### 5.1. Prace przygotowawcze

Przed przystąpieniem do opracowania należy zgromadzić następujące materiały kartograficzne:

- mapy w skali 1 : 25 000 obrazujące teren w promieniu około 30 km od zakładu przemysłowego,
- mapy przeglądowe lasów w skali 1 : 20 000 z naniesionymi ostatnio określonymi strefami zagrożenia,
- mapy stężeń  $\text{SO}_2$ .

Na mapę w skali 1 : 25 000 nanieść emitory zanieczyszczeń zarówno zakładu, którego wpływ jest badany jak i innych mogących oddziaływać na lasy w zasięgu opracowania.

Na mapach przeglądowych w skali 1 : 20 000 zaznaczyć drzewostany sosnowe w wieku ponad 40 lat. Określić typ siedliskowy lasu znajdujący się w przewadze na badanym terenie o oznaczyć na mapie obszary zajęte przez takie drzewostany w wieku powyżej 40 lat.

### 5.2. Wybór drzewostanów przeznaczonych do badania

Przy wyborze należy kierować się następującymi zasadami:

— Badaniom będą podlegać drzewostany w różnym wieku, lecz powyżej 40 lat, należące do dominującego w tym rejonie typu siedliskowego lasu. Jeżeli żaden typ siedliskowy lasu nie występuje w wyraźnej przewadze badania również można prowadzić, lecz należy liczyć się z potrzebą korelowania informacji z terenu z treścią zdjęć osobno dla różnych typów siedliskowych lasu.

— Zasięg badania powinien uwzględniać rozkład stężeń  $\text{SO}_2$ .

— W miejscach małych stężeń zanieczyszczeń oraz wraz z wzrostem odległości od emitora należy większą uwagę poświęcać drzewostanom w wyższych klasach wieku.

Wybrane wg powyższych kryteriów drzewostany należy oznaczyć na

mapie przeglądowej oraz nanieść je schematycznie na mapę w skali 1 : 25 000. Zgromadzić leśne mapy gospodarcze 1 : 5 000 drzewostanów przeznaczonych do badania.

### 5.3. Rozmieszczenie testowych rozpoznawczych powierzchni próbnych

Wybór rejonów, w których należy założyć w terenie rozpoznawcze powierzchnie próbne powinien być dokonany na podstawie znajomości stref zagrożenia. Zasada, jaka obowiązuje przy wyborze jest dążenie do posiadania przynajmniej dwóch rozpoznawczych powierzchni próbnych w każdej ze stref zagrożenia, lecz nie mniej niż 10. Trzeba pamiętać, że rozpoznawcze powierzchnie próbne nie mają w tym przypadku charakteryzować drzewostanu, lecz mają umożliwić korelację między liczbą wskaźnika uszkodzeń  $W_t$  a wskaźnikiem barwy i wskaźnikiem uszkodzeń częściowych określonych na podstawie obrazów tych samych drzew, które badano w terenie. Dlatego głównie należy zwrócić uwagę na to, aby rozpoznawcze powierzchnie próbne były zakładane w drzewostanach należących do różnych stref zagrożenia. Można zatem ich rozkład podporządkowywać wygodzie pracy terenowej (kwestia dojazdu) oraz zamierzeniom co do przebiegu osi nalotu.

Jeżeli brak jest wiadomości o przynajmniej przybliżonym rozkładzie stref zagrożenia, wyboru rejonów dla rozpoznawczych powierzchni próbnych musi dokonać taksator.

### 5.4. Projekt nalotu

Zaznaczyć na mapie 1 : 25 000 obszary leśne, które mają być sfotografowane. Mapa ta będzie stanowić załącznik do zlecenia wykonania zdjęć lotniczych. Projekt techniczny nalotu sporządzi przedsiębiorstwo wykonujące zdjęcia po otrzymaniu następujących danych:

- skala zdjęć 1 : 7 000,
- format 56 × 56 mm,
- odległość obrazu  $f = 80$  mm,
- pokrycie podłużne w szeregu  $p = 70\%$ ,
- pokrycie poprzeczne między szeregami  $q = 20\%$ .

Na pokładzie samolotu powinna być zainstalowana kamera fotogrametryczna (zdjęcia 23 × 23 cm) lub inna, którą będą wykonywane zdjęcia czarno-białe IR lub panchromatyczne synchronicznie ze zdjęciami spektrostrefowymi.



### 5.5. Przygotowanie zdjęć

Ze zdjęć czarno-białych sporządzić fotoszkie w przybliżonej skali 1 : 5 000. Do przeskalowania zdjęć użyć leśnych map gospodarczych.

Korzystając z fotoszkieu sporządzić skorowidz zdjęć spektrostrefowych.

### 5.6. Obserwacje zdjęć

Obserwacje mają na celu określenie wskaźnika barwy ( $b$ ) i wskaźnika uszkodzeń częściowych ( $u$ ) jako średnich z grup drzew o liczebności 10.

Obserwacje prowadzi się na diapozytywach spektrostrefowych zdjęć lotniczych na modelu stereoskopowym skali około 1 : 1 000 przy użyciu stereoskopu umożliwiającego obserwacje w świetle przechodzącym. Może być w tym celu użyty interpretoskop lub stereokomparator f-my Zeiss. Zaleca się oświetlenie diapozytywów światłem żarowym.

Obserwować należy:

a) grupy drzew wykorzystanych przez taksatora w terenie do określenia wskaźnika uszkodzeń  $W_t$ ,

b) grupy drzew charakteryzujących badane drzewostany. Zasady określania wskaźnika barwy i wskaźnika uszkodzeń częściowych zostały szczegółowo omówione w rozdziale 3.

Wybór powierzchni, dla której będzie określony wskaźnik częściowych uszkodzeń należy do obserwatora. Powinien on się kierować zasadą, w myśl której wskaźnik ten ma być określany osobno dla takich powierzchni, które charakteryzują się podobnym zagęszczeniem drzew częściowo uszkodzonych.

W trakcie obserwacji należy zaznaczyć na fotoszkieu lub na mapie położenie obserwowanej grupy oraz granice, wewnątrz których określano wskaźnik uszkodzeń częściowych.

W wyniku prac obserwacyjnych ma powstać aparat zawierający:

a) Zestawienie wielkości wskaźnika barwy ( $b$ ), wskaźnik uszkodzeń częściowych ( $u$ ) oraz odpowiadających im wskaźników uszkodzeń  $W_t$ . Te dane posłużą do określenia równania regresji  $W_t = f(b, u)$ .

b) Zestawienie wielkości ( $b$ ) i ( $u$ ) grup drzew charakteryzujących drzewostany.

### 5.7. Określenie postaci równania regresji oraz obliczenie wskaźników uszkodzeń $W_f$ dla drzewostanów badanych

Określenie postaci równania regresji dokonuje się metodą prób rozwiązując każdorazowo układ równań typu  $W_t f(b, u)$  względem współczynników funkcji  $f$  stosując metodę najmniejszych kwadratów.

Kryteria określenia właściwego równania typu  $W_f = f(b, u)$  podano w rozdziale 4.

Na podstawie określonego równania  $W_f = f(b, u)$  oraz wielkości ( $b$ ) i ( $u$ ) oblicza się dla wszystkich grup drzew badanych drzewostanów wielkości  $W_f$ .

### 5.8. Sporządzenie mapy stref zagrożenia

Obliczone wielkości  $W_f$  wpisuje się na mapę lub fotoszkic obok odpowiadających im punktów naniesionych przez obserwatora. Granicami stref zagrożenia będą izoliny równych wielkości  $W_f$  łączące wielkości o ustalonych wartościach granicznych dla poszczególnych stref.

## 6. Wnioski

Opracowana w Instytucie Geodezji i Kartografii fotointerpretacyjna metoda wyznaczania stref zagrożenia drzewostanów sosnowych jest metodą dogęszczenia sieci punktów (powierzchni) pomiarowych, określających stan drzewostanu.

Metoda ta, z racji jej charakteru, nie wypowiedza się o tym, jakie znaczenie gospodarcze i naukowe ma treść przyrodnicza zawarta w liczbowym wskaźniku uszkodzeń  $W_t$  wyznaczonym według zasad obowiązujących w leśnictwie.

Głównym walorem metody jest jej szczegółowość, z jaką można przy jej użyciu charakteryzować drzewostan. Metoda zachowuje dokładność metody terenowej w odniesieniu do powierzchni próbnej, a poprzez swą szczegółowość zwiększa około 50-krotnie wiarygodność przeniesienia informacji uzyskanej z próby losowej na populację generalną (drzewostan).

Stosowanie metody fotointerpretacyjnej pozwala uzupełniać dwa podstawowe braki metody bezpośredniej to jest dużą pracochłonność w terenie i bardzo małą szczegółowość, respektując równocześnie treść merytoryczną metody bezpośredniej.

Szczegółowość metody fotointerpretacyjnej jest w zasadzie dowolna.

Jak to wynika z przedstawionych rozważań statystycznie pełną wiarygodność otrzymuje się reprezentując 1 ha drzewostanu jedną fotointerpretacyjną powierzchnią rozpoznawczą o liczebności 10 drzew. Zwiększenie szczegółowości jest pozbawione uzasadnienia matematycznego i jak się wydaje również przyrodniczego.

Z racji nieniszczącego charakteru prób pobieranych z drzewostanu metoda fotointerpretacyjna dopuszcza, bez zmiany swej istoty, zmianę liczebności próby przy zachowaniu — rzecz jasna — przyjętych proporcji względem liczebności populacji generalnej. Jest to ważne w przypadku badania drzewostanów o dużym zróżnicowaniu badanych cech.

Metoda nie zmieni swej istoty również wtedy, gdy nauki leśne wprowadzą zmianę znaczenia treści przyrodniczej wskaźnika uszkodzeń pod warunkiem, że miarą uszkodzeń pozostanie nadal stan aparatu asymilacyjnego w górnej i środkowej części korony lub będą nią inne czynniki dostatecznie silnie korelujące z obecną treścią wskaźnika uszkodzeń.

Z analizy kosztów wynika, że nie opłaca się stosować metody fotointerpretacyjnej przy badaniu obszarów małych to jest do 5 000 hektarów. Dla obszarów większych koszt opracowania w przeliczeniu na 1 hektar utrzymuje się nieomal na stałym poziomie i wynosi około 110 złotych/1 hektar lasu.

W ogólności stosowanie metody fotointerpretacyjnej w porównaniu z metodą bezpośrednią jest kosztowne. Z tego też względu jak również z uwagi na jej ogromną szczegółowość — niemożliwą do uzyskania metodą tradycyjną — metoda wydaje się być prawdziwie użyteczna w przypadkach szczególnych (rozstrzyganie kwestii spornych, prace naukowe, badanie obszarów leśnych o szczególnym znaczeniu itp.).

Przedstawiona w szczegółach idea metody fotointerpretacyjnej ma już użyteczność praktyczną. Wszystkie jej elementy zostały sprawdzone, a słuszność postępowania została zweryfikowana w trakcie opracowywania przykładu ilustrującego metodę. Podane wskazania technologiczne systematyzują sposób postępowania, lecz nie stanowią nienaruszalnej recepty. Prezentowana metoda, jak każda posługująca się skomplikowaną techniką i oparta na ocenie i interpretacji jest trudna do opanowania. Wymaga od stosujących ją, liczenia się zarówno z jej zaletami, jak i słabościami. Na przykład istotną słabością metody jest niekiedy niepowtarzalność barw na zdjęciu spektrostrefowym, a ściślej zmiana ogólnego zabarwienia obrazu. Opracowany dla tej metody i opisany w rozdziale 3 sposób określania wskaźnika barwy łagodzi wynikające stąd trudności lecz ich nie likwiduje bez umiejętnego postępowania osoby interpretującej zdjęcie. Nabycie potrzebnych umiejętności wymaga czasu i treningu. Z tego, jak też z kilku innych względów, wskazania technologiczne nie mogą i nie powinny być zbyt szczegółowe. Nie należy liczyć na to,

że jakiegokolwiek metodzie zawierającej elementy interpretacji można nadać postać technologii w ogólnym tego słowa znaczeniu.

To stwierdzenie nie jest zaprzeczeniem obiektywizmu, jaki bez wątpienia cechuje metodę. Chodzi jednak o uzmysłowienie, że stosowanie metody i uzyskanie zadowalającego wyniku w granicach jej możliwości wymaga od wykonawców operowania wiedzą i doświadczeniem, której sumy nie sposób zapisać w najbardziej nawet szczegółowym przepisie roboczym. Nie można stworzyć przepisu, który byłby wystarczający dla kogoś, kto nie ma jeszcze doświadczenia w interpretacji zdjęć lotniczych, a w tym przypadku dodatkowo przynajmniej ogólnej wiedzy o lesie.

Zgodnie z założeniami programu prac naukowych nad zastosowaniem zdjęć spektrostrefowych do wyznaczania stref zagrożenia drzewostanów będących pod wpływem działania przemysłu zaprezentowana metoda stanowi zakończenie postępowania badawczego. Uzyskane wyniki umożliwiają przystąpienie do wykorzystywania metody w praktyce.

Należy liczyć się z tym, że w miarę postępu prac wdrożeniowych przyjęty sposób postępowania będzie ulegał drobnym modyfikacjom usprawniającym metodę.

Wobec znanych już i niemożliwych do ominięcia niedogodności techniki spektrostrefowej należy prowadzić prace badawcze nad zastosowaniem techniki zdjęć wielospektralnych.

Nie poruszaną jeszcze sprawą jest kwestia możliwości wyodrębnienia wpływu zakładów przemysłowych jako przyczyny niszczenia lasu spośród innych występujących przyczyn. Stwierdza się, że nie ma możliwości określenia przyczyn niszczenia lasu. Ta metoda, tak jak i metoda terenowa, jest zdolna określać skutki, a dochodzenie przyczyn musi być, z nielicznymi wyjątkami, przeprowadzone w inny sposób. Do tych nielicznych wyjątków należą możliwe do wyodrębnienia uszkodzenia usytuowane wzdłuż szlaków komunikacyjnych, miejsca po pożarach, zasięgi gradacji szkodników, podtopienia i temu podobne, a więc uszkodzenia nie wywołane bezpośrednio przez przemysł. Znajomość uszkodzeń spowodowanych innymi przyczynami nie rozwiązuje wprawdzie generalnej kwestii przyczynowości ale może przynajmniej nie obarczać konta przemysłu.

ВОЙЦЕХ ВЫХАВСКИ  
МАРИЯ ИРАЦКА

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ПОВРЕЖДЕНИЯ СОСНОВОГО ДРЕВОСТОЯ, НАХОДЯЩЕГОСЯ ПОД ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫХ АЭРОСНИМКОВ

### Резюме

Согласно с обязывающими в Польше принципами поверхность лесов делится на зоны, отличающиеся степенью и характером повреждений вызванных влиянием промышленности. Выделяются четыре зоны повреждений дрeвостоя в зависимости от величины повреждений ассимиляционного аппарата.

До сих пор за главный антропогенный фактор истребляющий леса в Польше принимается двуокись серы, эмитированная в атмосферу промышленными предприятиями. Показательным видом для исследования повреждений леса, вызванных промышленностью, является в главной мере сосна.

Исследования степени повреждения ассимиляционного аппарата деревьев, в результате которых выделяются зоны повреждения дрeвостоя, ведутся методом репрезентации на основе опознавательных пробных поверхностей. Под понятием познавательной пробной поверхности подразумевается, в случае исследования сосны, группа 10 деревьев. После срубки этих деревьев служат они для оценки в верхней и средней части кроны изменений длины и формы игольника, изменений его цвета, определения количества поколений иголок на побеге, оценки изменений прироста высоты и изменений живучести дерева. В результате осмотра кроны срубленных деревьев определяется числовой показатель повреждений  $W_t$ . Величина этого показателя решает о зачислении дрeвостоя репрезентированного опознавательной пробной поверхностью к одной из четырех зон повреждений.

С точки зрения фотоинтерпретации важным является то, что обязывающей мерой повреждения дрeвостоя — а, таким образом, правильной в свете современных природных знаний о лесе — является только состояние ассимиляционного аппарата деревьев в верхней и средней части кроны. Так как это как раз те элементы дерева, которые создают его изображение на аэроснимке. А затем в смысле понятия обе информации о лесе, как полученные на местности после срубки деревьев, так и зарегистрированные на аэроснимке, имеют общий источник. Является ним состояние ассимиляционного аппарата деревьев, характеризующиеся дифференцированной способностью отражения солнечного излучения.

Общий источник информации дает право до поиска достаточно существенной связи, которая должна быть в таком случае между числовой информацией о лесе, полученной при полевых исследованиях, и числовым видом содержания аэроснимка.

В результате многочисленных исследований, произведенных в Отделе применения методов дистанционного зондирования земли Института геодезии и картографии, установлено, что стереоскопическое наблюдение спектрзональных аэроснимков леса в масштабе около 1:7000 дает возможность определить сосновый дрeвостой двумя числовыми показателями, изменение которых связано с состоянием ассимиляционного аппарата деревьев. Один из этих показателей имеет точечный характер, так как относится к изображению кроны выбранного

дерева или группы деревьев, зато второй, имеющий поверхностный характер, относится к изображению выбранного фрагмента древостоя. Оба эти показателя рассматриваемые вместе дают возможность числового определения этой части содержания снимка, которая касается состояния ассимиляционного аппарата деревьев. Такая информация о лесе дает возможность выделения поверхности с определенной характеристикой, а тем самым разрешает дифференцировать древостой. Зато не подчинено ей еще естествоведческое содержание.

Так как существует общий источник информации о лесе, собранных описанным уже методом полевых исследований и возможных для извлечения со снимка, то определение вида корреляционной связи между числовым показателем  $W_t$  и фотоинтерпретационным показателем является однозначным, в смысле понятия, с приданием содержанию снимка такого естествоведческого значения, какое имеет полевой показатель повреждений  $W_t$ .

После определения вида такой связи выделение на основе спектрозональных аэроснимков зон повреждения древостоя сводится в основном к сгущению сети опознавательных поверхностей закладываемых теперь в лесу только в таком числе, какое необходимо для определения уравнения регрессии.

Из произведенных исследований следует, что применение спектрозональных аэроснимков для выделения зон повреждения уменьшает трудоемкость полевых работ на около 90% и в пятьдесят раз повышает достоверность проведения границ между зонами.

Перевод: Róża Tołstikowa

WOJCIECH BYCHAWSKI  
MARIA IRACKA

## INVESTIGATIONS OF INDUSTRIAL DAMAGE TO PINE FOREST WITH THE USE OF LOW-ALTITUDE FALSE-COLOUR PHOTOGRAPHY

### Summary

Forest areas subjected to the devastating influence of industrial pollution have been divided in Poland into four categories depending on the degree of damage to the assimilatory apparatus of trees. The above classification has been introduced for the purposes of forest management.

At present, the main pollutant of Polish forests is sulphur-dioxide emitted by various industrial plants. Pine is most extensively used as an indicator plant for the evaluation of industrial damage to forest areas. The separation of forests into different zones of industrial damage is done on the basis of investigations on the degree of damage to the assimilatory apparatus of trees.

Destructive testing is carried out on representative plots. In the case of pine

forest, such a plot consists of about 10 trees. After felling, the middle and upper sections of the crowns are examined as to the changes in length and shape of the needles, the changes of colour of individual needles, the number of the annual whorls of needles on individual branches. The changes in the yearly increase in height and vigour of individual trees are also estimated. The above procedures lead to the establishment of the „terrain coefficient” of damage ( $W_t$ ). According to the value of the coefficient  $W_t$  the trees of sample sites are classified in one of the four health standard categories.

Middle and upper sections of tree crowns being the only parts of trees registered on the photographic material, the above approach to investigations seems to be the optimal one. Moreover, it is full agreement with the findings of contemporary forestry, which indicate that the most reliable information on the health of a tree is to be looked for in the middle and upper parts of its crown.

The above sampling design guarantees the uniformity of information about the forest, both derived from aerial false-colour photographs and represented by the coefficient of damage  $W_t$ .

Since the amount of solar energy reflected from the tree depends on the state of its assimilatory apparatus, the correlations between the coefficient  $W_t$  and the amount of energy reflected from the same area (as measured on the false-colour photograph) are essential for establishing the degree of industrial damage to the forest.

Numerous investigations carried out at the Remote Sensing Centre of the Institute of Geodesy and Cartography in Warsaw have shown, that on the basis of stereoscopic observations of false-colour photographs of forests, taken at the scale of 1:7000, it is possible to arrive at two different coefficients reflecting the quality of the assimilatory apparatus of trees.

The first of the two coefficients supplies the information on the quality of crown of a particular tree or a small group of trees, the second reflects the quality of crowns in a larger section of the forest. Statistical elaboration of the above two coefficients leads to the establishment of the so called „photointerpretation coefficient” ( $W_f$ ). Next step in the procedures is the elaboration of the regression equation on the basis of the coefficients  $W_t$  and  $W_f$ . This function serves for the delimitation of boundaries between the forest zones of a different degree of damage.

Compared with other methods, the reliability of boundaries between different zones of industrial damage to the forest established with the use of false-colour photographs is 50 times higher. The application of the above method also results in about 90% decrease in the costs of ground data collection and field works.

Translation: Wiesława Sujkowska

WOJCIECH BYCHAWSKI  
MARIA IRACKA

DÉTERMINATION DES ZONES AFFECTÉES PAR LES RISQUES  
POUR LES PEUPELEMENTS PINIERS INFLUENCÉS PAR L'ACTION  
NOCIVE DE L'INDUSTRIE, EN BASE DES PHOTOS  
AÉRIENNES SPECTRO-ZONAIRES

Résumé

Conformément à la réglementation polonaise en vigueur, les terrains forestiers sont répartis en zones différenciées par le degré et par la nature des endommagements dûs à l'industrie. En fonction de l'intensité des endommagements de l'appareil d'assimilation, on distingue quatre zones affectées par les risques pour les peuplements.

L'anhydride sulfureux émis dans l'atmosphère par les établissements industriels est considéré, jusqu'à présent, comme un agent anthropogène principal détruisant les forêts en Pologne. L'espèce admise comme indice pour les études sur les endommagements de forêt provoqués par l'industrie est surtout le pin.

Des études du degré de l'endommagement de l'appareil d'assimilation des arbres dont les résultats servent à déterminer les zones affectées par les risques sont effectuées par la méthode représentative en base de surfaces-échantillons étudiées. On entend par la notion de surface-échantillon étudiée, dans le cas de l'étude du pin, le groupe de 10 arbres qui, après l'abattage, servent à évaluer dans les parties supérieure et centrale de la cime les changements de longueur et de forme des aiguilles, de leur couleur, à déterminer le nombre d'années d'accroissement dans une pousse, à évaluer le changement de l'accroissement de la hauteur ainsi que le changement de la vitalité de l'arbre. L'indice numérique des endommagements  $W_i$  est déterminé en suite de l'examen des cimes des arbres abattus. La grandeur de cet indice décide à inclure le peuplement représenté par la surface-échantillon étudiée dans une de quatre zones affectées par les risques.

Ce qui est important du point de vue de la photo-interprétation c'est que seul l'état de l'appareil d'assimilation dans les parties supérieure et centrale de la cime est la mesure en vigueur — donc la mesure justifiée à la lumière de la science forestière actuelle — des risques pour les peuplements. Ce sont ces deux parties de l'arbre qui font son image sur la photo aérienne. Dans le sens de conception donc, les deux informations sur la forêt, c'est à dire celle que l'on obtient dans le terrain après l'abattage des arbres et celle qui est enregistrée sur la photo aérienne ont une source commune — l'état de l'appareil d'assimilation des arbres caractérisé par une capacité différenciée de refléter le rayonnement solaire.

La source commune de l'information autorise à rechercher une relation essentielle qui, dans ce cas, doit exister entre les informations numériques sur la forêt obtenues lors des études dans le terrain et la forme numérique du contenu de la prise de vue aérienne.

Par suite de nombreuses études poursuivies par le Service d'Application de Télédétection à l'Institut de Géodésie et de Cartographie, on a constaté que l'observation stéréoscopique des photos aériennes spectro-zonaires de la forêt à l'échelle 1:7.000 environ permet de caractériser le peuplement pinier par deux indices nu-



mériques dont la variabilité est strictement liée à l'état d'assimilation des arbres. L'un de ces indices a un caractère ponctuel et se rapporte à l'image de la cime d'un arbre ou d'un groupe d'arbres, l'autre dont le caractère est superficiel se rapporte à l'image d'une partie choisie du peuplement. Ces deux indices considérés en commun permettent d'obtenir la formule numérique de la partie du contenu de la photo, celle notamment, qui concerne l'état de l'appareil d'assimilation. Une telle information sur la forêt permet de déterminer des surfaces à une caractéristique définie. Elle permet donc de différencier le peuplement. Par contre, cette information ne renferme pas encore le contenu botanique.

Vu la source commune des informations sur la forêt rassemblée par la méthode déjà décrite — celle d'études dans le terrain — et susceptibles d'être dégagées des photos, la détermination de la forme de la corrélation entre l'indice numérique  $W_t$  et les indices de photo-interprétation équivaut, du point de vue de la notion, à l'attribution au contenu de la prise de vue de la signification botanique qu'a l'indice des endommagements de terrain  $W_t$ .

Après avoir défini la forme de cette corrélation, la détermination des zones affectées par les risques pour les peuplements basée sur les photos aériennes spectro-zonaires se réduit à la condensation des réseaux des surfaces de reconnaissance. Ceux-ci sont alors établis dans la forêt seulement dans la quantité nécessaire à déterminer l'équation de régression.

Il résulte des expériences effectuées que l'utilisation des photos aériennes spectro-zonaires pour la détermination des zones affectées par les risques réduit la dépense du travail des travaux de terrain de 90% environ et accroît 50 fois l'authenticité de l'établissement des frontières entre les zones.

Traduction: Bohdan Jakubowski

