

WOJCIECH BYCHAWSKI
MARIA IRACKA

528.77.029.673:634.02

Przyczyny zróżnicowania barw obrazów koron sosny na spektrostrefowym zdjęciu lotniczym

Cechą szczególną spektrostrefowego zdjęcia lotniczego lasu są barwy obrazów koron drzew. Analiza procesu tworzenia się obrazu korony drzewa na filmie spektrostrefowym pozwala sformułować hipotezę o istnieniu zależności między barwą obrazu a charakterystyką przyrodniczą korony drzewa.

Hipoteza taka jest jednak ewidentnie słuszna tylko w odniesieniu do obrazów drzew martwych lub zamierających. Natomiast dostrzegalne na zdjęciach spektrostrefowych zróżnicowanie barw obrazów koron drzew żyjących nie może być a priori wyjaśniane wspomnianą hipotezą sformułowaną na podstawie analizy procesu tworzenia się barwy na trójwarstwowym filmie spektrostrefowym, a charakterystykę spektralną organów asymilacyjnych drzewa.

W przypadku zdjęcia lotniczego, zwłaszcza sosny, trzeba mieć bowiem 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 różnoznaczných punktów, które w sumie charakteryzują barwę korony drzewa.

Hipoteza o istnieniu zależności między barwą obrazu korony drzewa na zdjęciu spektrostrefowym a stanie aparatu asymilacyjnego będzie mogła być zweryfikowana i wykorzystana dopiero wtedy, gdy będzie można wyrazić barwę w postaci liczby. Dopiero wtedy będzie można poszukiwać korelacji i regresji między nią a różnymi charakterystykami drzewa przedstawionymi również w postaci liczb.

Z doświadczenia wiadomo, że przedział barw od typowej 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 barwę 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 drzewa.

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

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

Jak wynika z przeprowadzonego wyprowadzenia tego wzoru na oznaczenie barwy B , jest ono 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 by wskazywał położenie oznaczenia barwy obserwowanego drzewa na osi liczbowej w stałym przedziale liczb od 0 do 1.

Zależność między ogólnym oznaczeniem barwy B wyrażonym w jednostkach nazw (N) wyróżnialnych barw a wskaźnikiem barwy b w jednostkach stałego przedziału liczbowego ($0 \div 1$) można zapisać następująco:

$$b = \frac{B - N_1}{N_n - N_1} \quad (2)$$

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 (2) można zapisać

$$\text{— dla sosny martwej (wobec } B_1 = 1); b = \frac{1-1}{4-1} = 0$$

$$\text{— dla sosny zdrowej (wobec } B_4 = 4); b = \frac{4-1}{4-1} = 1$$

W takiej sytuacji, jeżeli rozważana hipoteza jest słuszna, to wzrostowi wielkości wskaźnika b powinien towarzyszyć wzrost kondycji aparatu asymilacyjnego.

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—1).

Opisany sposób określania liczbą zróżnicowania barwy obrazów koron drzew umożliwił dalsze prace mające na celu zbadanie istoty tego zróżnicowania, a więc ustosunkowanie się do hipotezy o znaczeniu przyrodniczym zmienności barw obrazów koron sosny na spektrostrefowej fotografii lotniczej lasu. Z takiej analizy powinny wynikać wnioski

o użyteczności zróżnicowania barwy oraz kierunki badań mających na celu określenie równań regresji wiążących treść zdjęcia z treścią przyrodniczą.

Przy współudziale dr inż. Jerzego Mozgawy z Wydziału Leśnego SGGW opracowaliśmy specjalny program badań terenowych. Treść tego programu została tak dobrana, aby można było badać moc korelacji między wskaźnikiem barwy a różnymi parametrami charakterystyki drzewa, czyli aby można było dochodzić przyczyn barwnego zróżnicowania obrazów koron sosny na zdjęciach spektrostrefowych.

W ramach współpracy z Instytutem Badawczym Leśnictwa przeszkolony w IGiK pracownik naukowy tego Instytutu wykonał obserwacje i obliczył wskaźniki barwy dla trzech powierzchni doświadczalnych, każda o liczebności ok. 30 drzew. Reprezentują one drzewostany położone w różnych fragmentach lasu lecz o podobnej charakterystyce. Drzewa stanowiące próbę nie były wybierane w drzewostanie losowo lecz tak, aby w każdej z prób znajdowały się drzewa, dla których wskaźnik barwy zawiera się w całym przedziale zmienności.

Ocena charakterystyk przyrodniczych tych drzew została wykonana, po ich ścięciu, przez Instytut Badawczy Leśnictwa.

Przedstawione w dalszej treści rezultaty badań dotyczą tych charakterystyk przyrodniczych, które zostały określone w terenie przez Instytut Badawczy Leśnictwa wg naszego programu badań, jak również tych, które zostały określone przez nas metodami fotogrametrycznymi na własnym polu testowym o liczebności 180 drzew.

Niezależnie od programu badań opracowanego w IGiK powstał również program badań terenowych w Instytucie Badawczym Leśnictwa.

Oba programy badań terenowych uzupełniają się. Nasz ma na celu określenie związków między zmiennością barwy na zdjęciu a tymi elementami drzew, które bezpośrednio uczestniczą w procesie tworzenia się obrazu na zdjęciu lotniczym. Program IBL natomiast przewiduje poszukiwanie zależności między barwą a takimi elementami jak np. zawartość chlorofilu, zmienność przyrostu piersnicy itp. Wyniki badań IBL nie zostały jeszcze opublikowane.

W naszych badaniach w pierwszej kolejności zdecydowaliśmy zbadać ewentualny wpływ wymiarów i budowy geometrycznej drzewa na zmienność barwy na zdjęciu. Gdyby się okazało, że jest istotna zależność między geometrią drzewa a wskaźnikiem barwy, wówczas wszelkie dalsze badania byłyby pozbawione praktycznego znaczenia. W takim przypadku bowiem, wskaźnik barwy nawet gdyby był również wykładnikiem stanu aparatu asymilacyjnego drzewa byłby nieużyteczny wobec ogromnego zróżnicowania osobniczego sosny.

Zbadano zatem moc korelacji liniowej między wskaźnikiem barwy

(b) a:

- wysokością drzewa (H),
- długością korony (D),
- stosunkiem długości korony do wysokości drzewa $\left(\frac{D}{H} \%\right)$
- pierśnicą (p),
- liczbą klasy Krafta (KK).

W tabeli 1 podaje się kolejno w wierszach:

- oznaczenie korelowanych zmiennych (np. $b = f(H)$)
- liczebność par zmiennych (n)
- współczynnik korelacji liniowej (r)
- współczynnik determinacji (r^2) wskazujący, jaki procent ogólnej zmienności wskaźnika barwy jest tłumaczony zmiennością korelowanej z nim wartości.

Tablica 1

Korelowana zmienna	pole	n	r	r^2
$b = f(H)$	3	32	-0,23	5%
	5	32	-0,09	1%
	6	32	-0,58	33%
	3F	181	-0,12	1%
$b = f(D)$	3	32	-0,09	1%
	5	32	-0,12	1%
	6	31	+0,14	2%
	3F	181	-0,09	1%
$b = f(D) H$	3	32	+0,02	0%
	5	32	-0,08	1%
	6	131	-0,11	1%
	3F	81	+0,05	0%
$b = f(p)$	3	32	-0,14	2%
	5	32	+0,07	0%
	6	31	+0,35	12%
$b = f(KK)$	3	32	+0,20	4%
	5	32	+0,12	4%
	6	31	-0,03	0%
	3F	181	+0,01	0%

W kolumnach tabeli 1 podaje się wymienione wielkości obliczone osobno dla trzech niezależnych prób pobranych przez IBL (pole nr 3,

5 i 6) oraz dla pola testowego IGiK (3F) założonego w sąsiedztwie pola IBL nr 3.

Wyniki korelacji podane w tabeli 1 uzasadniają twierdzenie, że elementy geometrii drzewa nie mają wpływu na zróżnicowanie barw obrazów koron sosny na zdjęciach spektrostrefowych. Wyjątkami są: stosunkowo duży współczynnik korelacji $k(b = f(H)) = -0,58$ oraz ewentualnie jeszcze współczynnik $k(b = f(p)) = 0,35$, oba na polu nr 6. Dodać jednak należy, że poziom istotności obu tych wielkości jest bardzo mały. Oznacza to, że prawdopodobieństwo przypadkowego otrzymania takich wielkości wymienionych wartości jest duże (ponad 10%), a więc są one mało istotne.

Z wielu parametrów charakterystyki przyrodniczej drzewa określonych w terenie zgodnie z programem badań wybrano to, które — wg rozważań teoretycznych — powinny mieć istotny wpływ na kształtowanie się wskaźnika barwy a mianowicie:

- 1) procentowy ubytek igieł na przyrostach w górnej, środkowej i dolnej części korony;
- 2) przeciętne ugięcie gałęzi w górnej, środkowej i dolnej części korony;
- 3) liczba roczników igieł na pędzie w górnej, środkowej i dolnej części korony;
- 4) zasłonięcie nieba.

Przed przystąpieniem do rachunków korelacyjnych dane z badań terenowych (wymienione w p. 1, 2, 3) zostały przeliczone i przedstawione w postaci wskaźników będących stosunkiem zmieniających się dla poszczególnych drzew wielkości uzyskanych z badań terenowych do wielkości stałej wyrażającej w przyjętych jednostkach stan „idealny” badanej wartości.

Procentowy ubytek igieł na przyrostach był określany w terenie dla każdego drzewa zespołem trzech liczb określających w procentach ubytek igieł na przyrostach trzech kolejnych roczników. Jeżeli w terenie zanotowano jako stan faktyczny np.

rocznik 1977 — 100% igieł,
rocznik 1976 — 80% igieł,
rocznik 1975 — 30% igieł,

to wskaźnik procentowego ubytku igieł — oznaczony symbolem i — został policzony przy założeniu, że stan „idealny” jest wyrażony zespołem liczb

rocznik 1977 — 100% igieł,
rocznik 1976 — 100% igieł,
rocznik 1975 — 100% igieł.

w tej sytuacji

$$i = \frac{100 + 80 + 30}{100 + 100 + 100} = 0,70$$

Tak obliczony wskaźnik ma komunikatywny wyraz słowny. Można bowiem powiedzieć, że wskaźnik np. $i = 0,70$ oznacza, że badane drzewo ma 70% igieł na trzech kolejnych rocznikach w stosunku do drzewa, które nie utraciło igieł w ciągu trzech kolejnych lat.

W taki sam sposób liczono wskaźniki przeciętnego uiglenia gałęzi, oznaczone symbolem u .

Nieco inaczej liczono wskaźnik liczby roczników igieł na pędzie (l) z tym jednak, że różnica polegała tylko na przyjęciu innego stanu „idealnego”. Przyjęto mianowicie, że drzewo będące poziomem odniesienia (stan „idealny”) ma cztery roczniki igieł, a nie trzy, jak to przyjęto przy obliczaniu wskaźnika o podobnym znaczeniu czyli wskaźnika ubytku igieł (i). Zostało to spowodowane tylko tym, że wśród badanych drzew są takie, które mają cztery roczniki igieł.

Omówiona zmiana nie ma — rzecz jasna — wpływu na wielkość współczynnika korelacji (który jest przedmiotem analizy), a wpływa jedynie na postać równania regresji, które w tym przypadku nie odgrywa większej roli.

W efekcie omówionych przeliczeń danych terenowych każdemu drzewu można było przyporządkować zespół następujących charakterystyk liczbowych:

- wskaźnik barwy (b),
- wskaźnik ubytku igieł na pędach,
 - w górnej części korony i_g ,
 - w środkowej części korony i_s ,
 - w dolnej części korony i_d ,
- wskaźnik uiglenia gałęzi,
 - w górnej części korony u_g ,
 - w środkowej części korony u_s ,
 - w dolnej części korony u_d ,
- wskaźnik liczby roczników igieł na pędzie,
 - w górnej części korony l_g ,
 - w środkowej części korony l_s ,
 - w dolnej części korony l_d ,
- wskaźnik zasłonięcia nieba z (%).

Z istotny zdjęcia lotniczego lasu wynika, że obraz jest tworzony w wyniku rejestracji odbicia światła od górnej i środkowej części korony, bez udziału zasłoniętej części dolnej. Tak jest z całą pewnością w odniesieniu do kształtu obrazu korony drzewa na zdjęciu, natomiast

brak wpływu dolnej części korony na tworzenie się barwy na zdjęciu spektrostrefowym należy traktować jako hipotezę wymagającą ustosunkowania się do jej słuszności. Nie można bowiem a priori wykluczyć możliwości pewnych zmian w barwie obrazu korony sosny, zwłaszcza przeredzonej, wywołanych promieniowaniem odbitym od głębszych warstw korony w tym także od jej dolnej części. Jest to ważne dlatego, że ewentualny wpływ dolnej części korony na barwę czyniłby, że naturalna obecność martwych gałęzi w dolnej części korony byłaby błędnie traktowana w procesie znaczeniowej interpretacji barwy na zdjęciu spektrostrefowym jako cecha nieswoista, jako wyraz obniżenia się kondycji drzewa.

Sprawdzenie hipotezy obrazu wpływu dolnej części korony drzewa na kształtowanie się barwy na zdjęciu spektrostrefowym wykonano metodą statystyczną. Wpływ dolnej części korony na zmienność wskaźnika barwy przedstawia się w postaci dopełnienia do jedności stosunku współczynnika korelacji wielokrotnej wskaźnika barwy z parametrami określonymi dla górnej i środkowej części korony do współczynnika korelacji wielokrotnej obliczonego po włączeniu parametru określonego dla dolnej części korony. W myśl tej definicji obliczono dla każdego z trzech pól doświadczalnych wskaźniki

$$k_i = l - \frac{R_b(i_g, i_s)}{R_b(i_g, i_s, i_d)}$$

$$k_u = l - \frac{R_b(u_g, u_s)}{R_b(u_g, u_s, u_d)}$$

Wobec dużej zbieżności znaczeniowej wskaźnika ubytku igieł i ze wskaźnikiem liczby roczników l nie liczono wskaźnika k_i określającego wpływ liczby roczników igieł w dolnej części korony na wskaźnik barwy.

W tabeli 2 przedstawia się wyniki omówionych obliczeń z podziałem na pola doświadczalne i wykazaniem liczebności korelowanych zespołów liczb (liczebność próby).

Tablica 2

Nr pola	Liczebność próby	k_i	k_u	$k_{\text{śr}}$
3	32	0,00	0,15	0,08
5	32	0,02	0,03	0,02
6	31	0,04	0,04	0,04
	95	0,02	0,07	0,05

Interpretacja wskaźników k wynika z ich istoty. Liczba $k = 0$ oznacza, że moc korelacji między wskaźnikiem barwy a badaną charakterystyką górnej i środkowej części korony jest taka sama, jak moc korelacji po włączeniu charakterystyki dolnej części korony. Innymi słowy $k = 0$ oznacza całkowity brak wpływu dolnej części korony na zmienność wskaźnika barwy. Znak „+” wskaźnika k oznacza, że współczynnik korelacji obliczony z wyłączeniem parametrów dolnej części korony jest większy od współczynnika korelacji obliczonego tylko dla górnej i środkowej części korony.

Dane liczbowe zawarte w tabeli 2 potwierdzają hipotezę o braku wpływu dolnej części korony na barwę obrazu korony sosny na zdjęciu spektrostrefowym. Widać, że pominięcie w rachunkach dolnej części korony zmniejsza współczynniki korelacji, a więc osłabia moc korelacji przeciętnie o 5% lecz przy odchyleniu standardowym również 5%. Taka zmiana współczynnika korelacji wywołuje zmianę współczynnika determinacji przeciętnie o około 11% jego wielkości. Nie jest to wielkość na tyle duża, aby mogła doprowadzić do błędów we wnioskowaniu ogólnym zwłaszcza, że została uzyskana z badania drzewostanów w podobnym wieku. Powinna być jednak brana pod uwagę — jako informacja pomocnicza — przy badaniach nad określeniem równań regresji o charakterze użytkowym, co jednak nie jest przedmiotem niniejszego opracowania.

Następną kwestią wymagającą wyjaśnienia jest proporcja, w jakiej wpływają na obraz lotniczy korony sosny jej górna i środkowa część. Jeżeli przyjmuje się, że górna i środkowa część korony, stanowiąc w przybliżeniu stożek, dzielą jego wysokość na dwie równe części, to powierzchnie boczne — jako odbijające światło, a więc tworzące obraz na zdjęciu lotniczym — są różnej wielkości i mają się do siebie jak 1 : 3. Jeżeli tak jest w istocie w procesie tworzenia się obrazu, to wskaźniki i , u oraz l korelowane ze wskaźnikiem barwy (b) nie powinny być liczone jako średnie arytmetyczne np. $i_l = (i_g + i_d) : 2$ lecz jako średnie ważone np. $i = (i_g + 3 i_d) : 4$.

Podobnie jak to było z wpływem dolnej części korony, ta hipoteza też wymaga sprawdzenia. Gdyby była ona bowiem słuszna oznaczałoby to, że wskaźnikiem barwy w inny sposób opisuje się stan aparatu asymilacyjnego w górnej części korony, a w inny sposób w środkowej.

W tabeli 3 przedstawia się wielkości współczynników korelacji wskaźnika barwy z każdym z wymienionych wskaźników liczonych ze średnich arytmetycznych (i_l , u_l , l_l) i ze średnich ważonych (i , u , l).

Przedstawione wyniki obliczeń nie upoważniają do stanowczego twierdzenia o tym, że górna część korony wpływa na wskaźnik barwy

Tablica 3

	Korelacja $b = f(i)$		Korelacja $b = f(u)$		Korelacja $b = f(l)$	
	r_1	r	r_1	r	r_1	r
Pole 3	0,48	0,42	0,25	0,07	0,36	0,52
Pole 5	0,47	0,66	0,27	0,37	0,43	0,51
Pole 6	0,47	0,44	0,46	0,40	0,60	0,53
średni	0,47	0,52	0,33	0,28	0,46	0,52

zdjęcia spektrostrefowego w innej proporcji niż środkowa. Znaczącą poprawę mocy korelacji wszystkich trzech wskaźników otrzymuje się tylko na polu nr 5. Oznacza to, że w tym drzewostanie środkowe części koron są reprezentowane w barwie ich obrazów w większym stopniu niż górne. Dla pozostałych pól bywa różnie natomiast wielkości z wszystkich pól nasuwają wniosek, że w przypadku większych mocy korelacji uwzględnianie stożkowego charakteru korony ma pewne uzasadnienie w przeciwieństwie do korelacji słabych, gdzie jest to raczej bez znaczenia.

Po przeprowadzeniu opisanych analiz przystąpiono do obliczeń których celem było określenie źródła zmienności barwy obrazów koron sosny na zdjęciu spektrostrefowym.

Dla każdego z trzech pól doświadczalnych obliczono moc korelacji między wskaźnikiem barwy (b) a każdym z omówionych wcześniej wskaźników jak również moc korelacji wielokrotnych trzech zmiennych w różnych zestawieniach oraz wszystkich czterech zmiennych razem.

W tabeli 4 przedstawia się wyniki tych obliczeń podając korelowaną zależność, współczynnik korelacji, współczynnik determinacji oraz wyraz (E) estymacji błędu szacunku współczynnika korelacji r . Wielkość E jest liczona jako wartość bezwzględna stosunku współczynnika korelacji do jego błędu standardowego.

$$E = \left| \frac{r}{r \sigma} \right| = \left| \frac{r n}{l - r^2} \right|$$

Współczynnik E określa wiarygodność związku korelacyjnego. Związek ten traktuje się jako wystarczająco wiarygodny (> 96%) jeżeli $E \geq 3$. W kolumnie określającej wartości średnie z trzech pól współczynnik E liczono z uwzględnieniem odchylenia standardowego σ wynikającego z różnic wartości otrzymanych r dla różnych pól.

Tablica 4

Związek korelacyjny	Pole 3 (n = 32)			Pole 5 (n = 32)			Pole 6 (n = 31)			Średnie z trzech pól (n = 95)		
	r	r ²	E	r	r ²	E	r	r ²	E	r	r ²	E
$b = f(i)$	0,42	18%	2,9	0,66	44%	6,6	0,44	19%	3,0	0,51	26%	3,8
$b = f(u)$	0,07	0%	0,4	0,37	14%	2,4	0,40	16%	2,6	0,28	8%	1,6
$b = f(l)$	0,52	27%	4,0	0,51	26%	3,9	0,53	28%	4,1	0,52	27%	6,9
$b = f(i, u)$	0,43	18%	3,0	0,67	45%	6,9	0,49	24%	3,6	0,53	28%	4,3
$b = f(i, l)$	0,57	32%	4,8	0,66	44%	6,6	0,54	29%	4,2	0,59	35%	7,1
$b = f(u, l)$	0,52	27%	4,0	0,54	29%	4,3	0,54	29%	4,2	0,53	28%	7,1
$b = f(i, u, l)$	0,57	32%	4,8	0,67	45%	6,9	0,55	30%	4,4	0,60	36%	7,3

Wyniki korelacji przedstawione w tabeli 4 upoważniają do sformułowania następujących spostrzeżeń:

1) znajduje się dość silną i wysoce istotną korelację między wskaźnikiem barwy (b) a wskaźnikiem liczby roczników igieł na pędzie (l) jak również między wskaźnikiem barwy (b) a wskaźnikiem ubytku igieł na pędzie (i);

2) zależność między wskaźnikiem barwy (b) a wskaźnikiem uiglenia gałęzi (u) jest słaba i mało istotna jak również nie wnosi niczego nowego w korelacjach wielokrotnych. Może być zatem w dalszych rozważaniach pominięta.

Z tych spostrzeżeń oraz na podstawie mocy korelacji wielokrotnych można sformułować następujące wnioski:

1) zróżnicowanie barwy koron sosny na zdjęciu spektrostrefowym jest w dużej części spowodowane zmianą ilości aparatu asymilacyjnego na jednostkę powierzchni rzutu korony;

2) zmienność ilości aparatu asymilacyjnego na jednostkę powierzchni korony jest przyczyną około 30—40% zmienności wskaźnika barwy obrazu korony sosny na zdjęciu spektrostrefowym.

Z ostatniego wniosku wynika, że do opisanego wskaźnikiem barwy ilości aparatu asymilacyjnego na jednostkę powierzchni korony wykorzystuje się zaledwie część informacji zawartych w zakresie możliwej do zaobserwowania zmienności wskaźnika barwy.

Już wcześniej udowodniono (tabela 1), że zmienność barwy nie jest wywołana parametrami geometrycznymi drzewa jako bryły ani też jego stanowiskiem socjalnym w drzewostanie. Wykonano także obliczenie mocy korelacji między wskaźnikiem barwy (b) a zasłonięciem nieba (z). Stwierdzono, że badana korelacja jest niemalże identyczna jak omówiona już korelacja ze wskaźnikiem uiglenia gałęzi (u). Z tego też względu została ona pominięta w dalszych rozważaniach.

Skoro tak, to należy wyrazić przypuszczenie, że problem podniesienia użyteczności zasobu informacji zawartych w barwnym zróżnicowaniu lotniczego zdjęcia spektrostrefowego lasu powinien być traktowany jako otwarty dla nauk przyrodniczych.

Innymi słowy przedstawiona w niniejszej pracy metoda zróżnicowania barw obrazów koron sosny wskaźnikiem liczbowym umożliwia tworzenie zbioru informacji o drzewostanie, którego bogactwo może być wykorzystywane zaledwie w 30—40% przy obecnym stanie wiedzy o zależnościach między charakterystyką spektralną a charakterystyką przyrodniczą korony sosny.

Z przeprowadzonych analiz statystycznych można wyciągnąć następujące wnioski:

1) zróżnicowanie barwne obrazów koron sosny na zdjęciu spektrostrefowym nie jest wynikiem zróżnicowania wysokości drzew, długości koron i promienia rzutu korony jak również nie zależy od stanowiska socjalnego drzewa w drzewostanie;

2) stwierdza się dość silną ($r = 0,60$) korelację liniową między wskaźnikiem barwy a wskaźnikami określającymi ilość aparatu asymilacyjnego w jednostce powierzchni górnej i środkowej części korony sosny. Istnienie tej korelacji umożliwia określenie na podstawie wskaźnika barwy liczby roczników igieł na pędzie oraz wyrażenie w procentach ilości igieł na przyrostach z np. trzech ostatnich lat.

Niniejsze opracowanie należy traktować jako podstawę do sformułowania programu badań przyrodniczych. Dopiero w ich wyniku będzie można określić równanie regresji opisujące zależności między treścią zdjęć a charakterystyką przyrodniczą i gospodarczą lasu nadając w ten sposób przebadanym w tej pracy związkom wartość użytkową.

W toku licznych prac obliczeniowych przeprowadzonych w ramach niniejszego opracowania określono nie tylko moc badanych korelacji lecz również równania regresji. Nie podaje się jednak ich postaci chcąc uniknąć stworzenia wrażenia ich użyteczności w sensie ogólnym. Na podstawie posiadanego materiału nie można bowiem z dostateczną pewnością sądzić o uniwersalności tych równań, a więc o ich użyteczności do badania drzewostanów o różnej charakterystyce.

Chcąc jednak zaprezentować możliwości charakteryzowania drzewostanu na podstawie danych uzyskanych ze zdjęć lotniczych przedstawia się następujący przykład wykorzystujący równania regresji określone w ramach niniejszego tematu.

Dla pola nr 3 określono równania w następujących postaciach (znaczenie symboli l , i , b zgodne z omówionymi poprzednio):

$$D = 0,52 H - 2,4,$$

gdzie D — długość korony,

H — wysokość drzewa,

$$p = 1,01 H + 1,46 D - 3,56,$$

gdzie p — pierśnica,

$$l = 0,22 b + 0,64,$$

$$i = 0,21 b + 0,55,$$

$$z = 31 b + 28,$$

gdzie z — zakrycie nieba przez koronę.

Na podstawie zdjęć spektrostrefowych określono tylko dwa parametry a mianowicie:

— średnią wysokość drzewostanu $H = 17$ m,

— średni wskaźnik barwy $b = 0,70$.

Na podstawie tych dwóch wielkości można — wykorzystując równania regresji — podać następującą charakterystykę drzewostanu: jest to drzewostan, w którym przeciętna pierśnica wynosi 23 cm. W koronach o średniej długości 6,4 m przysłaniających ok. 60% nieba znajdują się przeciętnie 3 roczniki igieł, które zachowały się średnio w 70%.

Znając z innego źródła np. wiek drzewostanu można uzyskać wszystkie informacje, którymi operują „Tablice zasobności i przyrostu drzewostanu”.

W tym przypadku wiek drzewostanu wynosi 80 lat. Korzystając z tablic zasobności i z wymienionych już danych otrzymanych ze zdjęć oraz z równań regresji, opis słowny charakterystyki drzewostanu można wzbogacić mówiąc, że drzewostan należy do III klasy bonitacji siedliska, że bieżący przyrost roczny grubizny drzewa wynosi średnio 5,5 m³, a miąższość drzewostanu głównego owynosi 258 m³ na 1 ha lasu, itd.

Podany przykład ma stanowić ilustrację twierdzenia o bogactwie treści zdjęcia lotniczego lasu i być argumentem uzasadniającym podjęcie w szerszej skali badań przyrodniczych umożliwiających korelowanie treści zdjęć z charakterystyką drzewostanów.

Recenzował doc. dr hab. Andrzej Ciołkosz

ВОЙЦЕХ БЫХАВСКИ
МАРИЯ ИРАЦКА

ПРИЧИНЫ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЦВЕТА ИЗОБРАЖЕНИЯ КРОН
СОСЕН НА СПЕКТРОЗОНАЛЬНОМ КОСМИЧЕСКОМ СНИМКЕ

Резюме

Содержанием статьи является поиск связей между цветом изображения кроны деревьев соснового древостоя на спектрально-инфракрасных космических снимках и геометрической, природной характеристикой этих деревьев. Представлено способ определения дифференциации цветов количественным показателем и метод полевых исследований, результаты которых количественно характеризуют геометрические и природные черты деревьев.

В результате проведенных статистических анализов установлено довольно сильную линейную связь [$r = 0,60$] между показателем цвета и количеством ассимиляционного аппарата, выраженного количеством ежегодных иголок на побегу и количеством сохранённых иголок на приростах. Кроме того установлено, что изменение цвета изображений кроны сосен на спектрально-инфракрасных снимках не вызвано ни изменением параметров, определяющих тело короны, ни дифференциацией высоты и возраста, ни социальным положением дерева в древостое.

Перевод: Róża Tołstikowa

WOJCIECH BYCHAWSKI
MARIA IRACKA

REASONS OF COLOUR DIFFERENTIATION ON THE IMAGE OF
PINE CROWN ON THE COLOUR INFRARED AIRPHOTOS

Summary

Investigation of the relations between the colour of tree crowns in stands of pine-trees imaged on colour infrared airphotos and geometrical and biological characteristic of these trees is the main contents of this paper. The way of determination, using the number index and the field work method, the results of which express the geometrical and biological features of trees in numbers, were presented.

As a result of elaborated statistical analysis, fairly strong linear correlation ($r = 0,60$) between colour indicator and the amount of assimilation apparatus was stated, what resulted as a number of annual whorls of needles and a number of needles remained on shoots.

Besides, it was stated that changing of colours on the image of pine crowns in the colour infrared infrared airphoto is not caused by the changing of parameters determining the crown size or by height differentiation as well as by social status of a tree in the stand.

Translation: Jacek Domański