

PRÓBA WYKORZYSTANIA ZDJEĆ LOTNICZYCH DO BADANIA ROZKŁADU POWIERZCHNIOWEGO ZAKWITU WÓD STOJĄCYCH

WSTĘP

Nasilające się zanieczyszczenie środowiska naturalnego oraz intensyfikacja nawożenia gleb powodują istotne zmiany w życiu biologicznym wód stojących. W związku z tym bardzo ważnym problemem stała się systematyczna kontrola jakości wód, wykrywanie źródeł zanieczyszczeń oraz określenie ich zasięgu. Metody obecnie stosowane opierają się na badaniu laboratoryjnym prób pobranych w najgłębszych miejscach zbiorników. Ocena zbiornika na podstawie tych badań nie daje możliwości oceny powierzchniowego rozkładu badanych zjawisk.

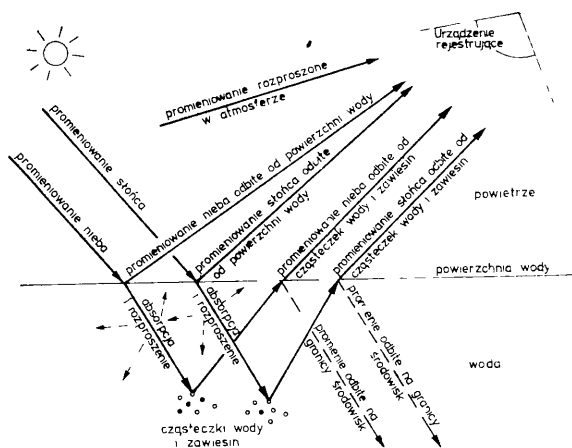
Zdjęcia lotnicze wykonane specjalnymi technikami oraz odpowiednio przetworzone, w połączeniu z badaniami bezpośrednimi w wybranych punktach zbiornika, mogą dostarczyć bogatszej informacji o powierzchniowym rozkładzie badanego zjawiska.

TECHNIKA FOTOGRAFOWANIA ŚRODOWISKA WODNEGO

Fotografowanie środowiska wodnego różni się znacznie od fotografowania powierzchni lądu. Przed przystąpieniem do zdjęć niezbędna jest analiza praw optyki wody i atmosfery oraz zjawisk wpływających na odbicie spektralne.

Analizę przeprowadzono opierając się na schemacie przebiegu energii między źródłem promieniowania, środowiskiem wodnym i urządzeniem rejestrującym, przedstawionym na rys. 1.

* Mgr inż. Jerzy Miałdun, Akademia Rolniczo-Techniczna, Instytut Geodezji i Fotogrametrii, 10-957 Olsztyn-Kortowo



Rys. 1. Ogólny schemat przebiegu energii między źródłem promieniowania a środowiskiem wodnym i urządzeniem rejestrującym

Fig. 1. General view of the energy run between the source of radiation and the water environment and the detector

Promieniowanie rozproszone w atmosferze wywołane jest przez cząsteczki wody, gazów i pył. Czynniki te wpływają decydująco na kontrast obrazu poprzez rozproszenie i tłumienie promieniowania krótkofalowego. Obniżenie wpływu tego zjawiska polega na stosowaniu filtrów absorbujących krótkofalową część widma.

Lustrzane odbicie promieni słońca od powierzchni wody odfotografuje się na zdjęciu jako bardzo jasna plama (tzw. odbłask) lub przy sfalowanej wodzie jako jasne smugi o nieregularnym kształcie. Obraz tych miejsc jest zupełnie nieprzydatny do opracowania. W związku z tym przed przystąpieniem do zdjęć należy rozważyć następujące czynniki: kąt rozwarcia kamery i wysokość słońca nad horyzontem. Odbłask nie wystąpi na zdjęciu pionowym, jeżeli:

$$-\frac{\gamma}{2} < h_0, \quad (1)$$

gdzie:

- γ — kąt rozwarcia kamery,
- h_0 — wysokość słońca.

Przedstawiona zależność determinuje wybór formatu zdjęcia oraz ogniskową obiektywu. Najodpowiedniejszą do fotografowania porę dnia określa zależność:

$$\sin h_0 = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t, \quad (2)$$

gdzie:

- δ — deklinacja słońca,
- φ — szerokość geograficzna obiektu fotografowanego,
- t — kąt godzinny słońca.

Promieniowanie nieba odbite od powierzchni wody jest rejestrowane jako wzrost gęstości optycznej negatywu na brzegach zdjęcia (Piech, Walker, 1972). Osłabienie tego zjawiska można uzyskać przez stosowanie obiektywów o kącie rozwarcia do 80° (rys. 2) oraz filtrów absorbujących krótkofalową część widma.

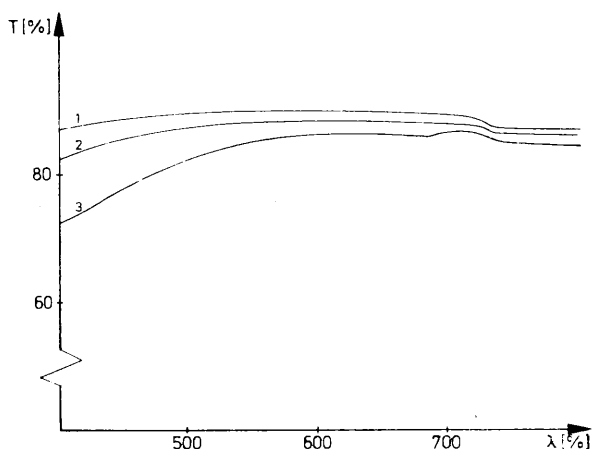
Promieniowanie słońca i nieba odbite od cząsteczek tworzących zawiesinę wodną jest głównym czynnikiem tworzącym interesujący nas obraz. Promieniowanie krótkofalowe jest bardzo mocno rozpraszane w wodzie, przez co dociera głębiej i obraz obiektów zanurzonych jest niebieskozielony. Promieniowanie długofalowe od około $\lambda = 700$ nm jest silnie pochłaniane. Podczerwień fotograficzna penetruje środowisko wodne tylko do około 50 cm. Głębokość penetracji zależy również od wysokości słońca. Zależność tę przedstawia rys. 2. Sfalowanie wody zwiększa ilość promieniowania przenikającego pod powierzchnię.

Rys. 2. Przepuszczalność spektralna wody pobranej z powierzchni jezior:

1 — jezioro Gim, 2 — jezioro Platyny, 3 — Jezioro Wójtowieckie

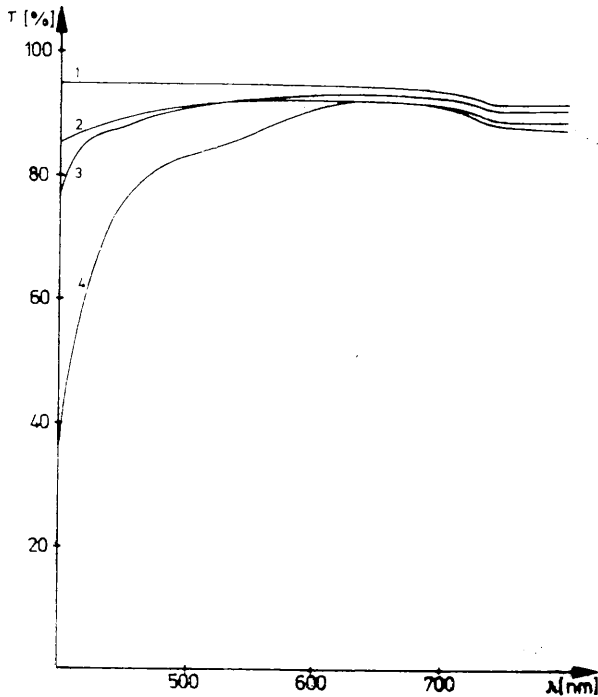
Fig. 2. Spectral permeability of water collected from the surface of the lakes:

1 — the Gim Lake, 2 — the Platyny Lake, 3 — the Wójtowieckie Lake



Koncentracja związków chemicznych rozpuszczonych w wodzie powoduje zmiany zabarwienia wody oraz przepuszczalności spektralnej. Typowe związki chemiczne wpływające na właściwości spektralne wody w naturalnych zbiornikach to: żelazo w postaci dwu- i trójwartościowej, kwas huminowy i fulwowy. Rysunki 3, 4 i 5 przedstawiają wyniki badań przepuszczalności spektralnej wody destylowanej, roztworów wymienionych związków oraz próbek wody pobranej z głębokości 10 cm z testowanych jezior. Badania przeprowadzono na spektrofotometrze Beckman Model 26, z kuwetą o szerokości 10 mm.

Wody zanieczyszczone nawozami mineralnymi nie zmieniają właściwości spektralnych i zanieczyszczenia tego typu nie są rejestrowane na obrazie fotograficznym. Czynnikiem pośrednim rejestrowanym fotograficznie są skupiska fitoplanktonu, które w koncentracji powyżej 500 organizmów w ml nazywane są zakwitem wody. Występuje on na ogół w wodach zanieczyszczonych solami azotowymi i fosforowymi, lecz me-



Rys. 3. Przepuszczalność spektralna wody w zależności od zawartości żelaza:

1 — distilled water, 2 — 0,1% Fe^{++} solution in the form FeSO_4 , 3 — 0,01% Fe^{+++} solution in the form $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, 4 — 0,1% Fe^{+++} solution in the form $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

Fig. 3. Spectral permeability of water subject to Fe contents:

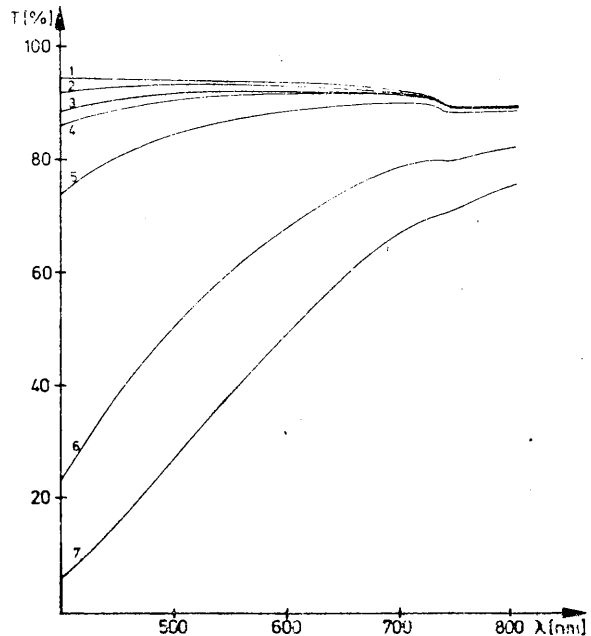
1 — distilled water, 2 — 0,1% Fe^{++} solution in the form FeSO_4 , 3 — 0,01% Fe^{+++} solution in the form $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, 4 — 0,1% Fe^{+++} solution in the form $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

Rys. 4. Przepuszczalność spektralna wody w zależności od zawartości kwasu huminowego:

1 — woda destylowana, 2 — 0,0001%, 3 — 0,0002%, 4 — 0,0004%, 5 — 0,001%, 6 — 0,005%, 7 — 0,01%

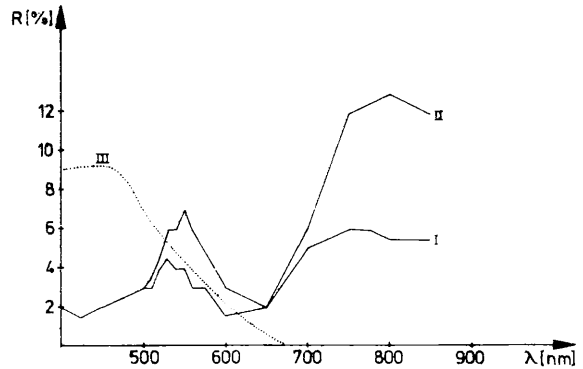
Fig. 4. Spectral permeability of water subject to humins acid contents:

1 — distilled water, 2 — 0,0001%, 3 — 0,0002%, 4 — 0,0004%, 5 — 0,001%, 6 — 0,005%, 7 — 0,01%



Rys. 5. Odbicie spektralne wody destylowanej i zagęszczonego fitoplanktonu:
I — 1,34 tys. org./ml, **II** — 2,84 tys. org./ml, **III** — woda destylowana

Fig. 5. Spectral reflection of distilled water and concentrated phytoplankton:
I — 1 340 organisms/ml, **II** — 2 840 organisms/ml, **III** — distilled water



chanizmy jego powstawania nie są dotychczas dokładnie wyjaśnione. Pojawienie się zakwitów zmienia równowagę biologiczną zbiornika i świadczy o niskiej jakości wody.

W celu znalezienia optymalnego przedziału widma do rejestracji zakwitów pobrano próbki wody z jeziora Platyny i zagęszczono zawiesinę za pomocą siatki planktonowej. Skład gatunkowy fitoplanktonu przedstawiono w tab. 1. Krzywe odbicia spektralnego określono na spektrokolorymetrze Spekol (rys. 5) dla dwóch stanowisk o różnej koncentracji fitoplanktonu. Na podstawie analizy wymienionych zagadnień oraz korzystając z dostępnego sprzętu opracowano następującą metodykę wykonywania zdjęć:

— termin wykonania zdjęć: od połowy maja do połowy czerwca i od połowy sierpnia do połowy września w godzinach od 8.00 do 10.00

Tabela 1

Table 1

Charakterystyka składu gatunkowego fitoplanktonu na stanowisku I i II

Characteristics of the phytoplankton species composition in the sites I and II

Gatunek (Species)	Udział gatunków (Participation of species) [%]	
	stanowisko I (site I)	stanowisko II (site II)
<i>Microcystis flos-aquae</i>	52	32
<i>Microcystis aeruginosa</i>	--	28
<i>Microcystis Wesenbergii</i>	30	11
<i>Microcystis viridis</i>	7	10
<i>Cevatum hirundinella</i>	1	8
<i>Flagellota n. det</i>	4	—
Inne	6	13

i od 15.30 do 18.30; terminy te związane są z masowym pojawianiem się fitoplanktonu w tych okresach oraz dogodną wysokością słońca;

— zdjęcia należy wykonać na materiałach:

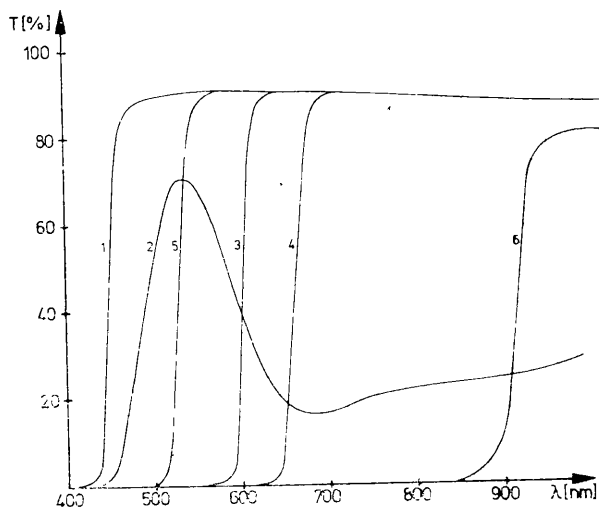
- a) panchromatycznych Kodak TRI-X Aerographic film 2403 przez filtr zielony Panchromar (rys. 6),
- b) uczulonym na podczerwień Kodak Infrared Aerographic film 2424 przez filtr RG1 PZO, czerwony ciemny, Infraszwarz Panchromar i zielony Panchromar (rys. 6),
- c) spektrostrefowym Kodak Aerochrome infrared film 2443 przez filtr OG 4 PZO i RG 1 PZO (rys. 6),
- d) ORWO UT 18 i Agfachrome Profesional 50S do interpretacji wizualnej;

— podczas wykonywania zdjęć należy pobrać próby wody z kilku stanowisk kontrolnych.

Zdjęcia wykonano aparatem fotograficznym Pentacon Six TL z obiektywem Biometar 80/2.8 w dniu 27 sierpnia 1979 roku, w porze przedpołudniowej. Objęły one fragment Jeziora Wulpińskiego. Fotografowano z pokładu samolotu Wilga przy prędkości lotu $V = 150$ km/godz. i wysokości lotu 1000 m, co dało skalę zdjęcia 1:12 500. Jednocześnie pobrano 18 prób wody w sygnalizowanych punktach kontrolnych.

OKREŚLENIE STREF INTENSYWNOŚCI ZAKWITU

Ekspozycję i obróbkę fotochemiczną dobrano tak, że gęstość optyczna na najjaśniejszego i najciemniejszego fragmentu fotografowanego obiektu znalazła się na prostoliniowym odcinku krzywej charakterystycznej przy $\gamma = 1$.



Rys. 6. Przepuszczalność spektralna filtrów stosowanych przy wykonywaniu zdjęć lotniczych:

1 — żółty jasny PANCHROMAR lub OG 5 PZO, 2 — zielony PANCHROMAR, 3 — czerwony średni RG 1 PZO, 4 — czerwony ciemny PANCHROMAR, 5 — pomarańczowy OG 4 PZO, 6 — Infra Schwarz PANCHROMAR

Fig. 6. Spectral permeability of filters used to make airphotos:

1 — PANCHROMAR light yellow or OG 5 PZO, 2 — PANCHROMAR green, 3 — RG 1 PZO medium red, 4 — PANCHROMAR dark red, 5 — OG 4 PZO orange, 6 — Infra Schwarz PANCHROMAR

Pomierzono gęstość optyczną w punktach kontrolnych i wyznaczono parametry równania (Lillesand, Scarpace, Clapp, 1975; Ritchie, Mc Henry, 1976):

$$S = \sigma_{\lambda} \cdot 10^{Z(D_{\lambda})} + \beta_{\lambda} \quad (3)$$

opisującego zależność między gęstością optyczną zdjęcia a koncentracją fitoplanktonu,

gdzie:

- S — koncentracja fitoplanktonu,
- $\sigma_{\lambda}, \beta_{\lambda}$ — parametry równania,
- $Z(D_{\lambda})$ — logarytm ekspozycji określonej z krzywej charakterystycznej materiału światłoczułego na podstawie gęstości optycznej badanego punktu zdjęcia wykonanego w określonym przedziale widma.

Stwierdzono również, że zależność między gęstością optyczną a koncentracją chlorofilu dość dobrze opisuje nieco zmieniona postać wzoru (3):

$$S = \alpha_{\lambda} e^{\beta_{\lambda} \cdot Z(D_{\lambda})} + A_{\lambda} \quad (4)$$

Modyfikacji dokonano na podstawie analizy gęstości optycznej zdjęć w punktach kontrolnych oraz koncentracji chlorofilu w pobranych próbach, która wahała się w przedziale od 11 mg/L do 26 mg/L. Wyniki pomiarów oraz obliczone współczynniki równań (3) i (4) przedstawiono w tab. 2.

Przetworzenie ekwitonealne zdjęć oraz przyporządkowanie poszczególnym powierzchniom ekwitonealnym przedziału intensywności zakwitu wzorem (3) lub (4) pozwoliło na opracowanie mapy powierzchniowego rozkładu intensywności zakwitu. Mapę przedstawia rys. 7.

PODSUMOWANIE

Informacje uzyskane ze zdjęć lotniczych potwierdzają ich przydatność do badania rozkładu zakwitu w powierzchniowej warstwie jezior. Najlepsze wyniki uzyskano z opracowania zdjęć wykonanych na materiale Kodak infrared Aeorographic film 2424 przez filtr czerwony ciemny i zielony Panchromar. Opracowanie densytometryczne pozwoliło na wyznaczenie stref intensywności zakwitu powierzchniowej warst-

Charakterystyka zakwitu na poszczególnych stanowiskach oraz odpowiadająca mu gęstość optyczna zdjęcia

Characteristics of the blossoming in the particular sites and corresponding optical density of the photo

Numer punktu (Point no)	D^{PI}	Intensywność zakwitu (Intensity of the blossoming)		Uwagi (Remarks)
		chlorofil (chlorophyll) [mg/L]	liczba organizmów (number of organisms) [1000/ml]	
1	0,94	18,0	3,36	$S = 0,413 \cdot 10^{-1} Z(D)$ $+0,430$ (Piech, Walker, 1972) $S = 5,881 \cdot 10^{-1} Z(D)$ $+2,63$ (Piech, Walker, 1974) Współczynniki wyznaczo- no na podstawie zdjęć wykonanych na mate- riale Kodak infrared Aerographic film 2424.
2	0,81	16,9	2,15	
3	0,68	14,0	1,48	
4	0,58	13,5	1,26	
5	0,34	10,6	0,50	
6	1,13	20,2	5,15	
7	1,17	20,5	5,36	
8	1,10	20,5	5,09	
9	1,07	20,0	4,12	
10	0,99	18,0	3,76	
11	0,79	15,1	2,31	
12	0,49	12,1	0,75	
13	0,43	11,5	0,80	
14	0,36	11,3	0,55	
15	0,29	10,7	0,49	
16	1,36	24,9	9,06	
17	1,47	27,1	11,64	
18	1,48	28,1	11,94	

$$D^{PI} = (D - D_1) - D_2$$

D — gęstość optyczna w punkcie badanym,

D_2 — gęstość zadymienia,

$\Delta D_1 \dots \Delta D_n$ — poprawka wynikająca ze spadku jasności układu optycznego.

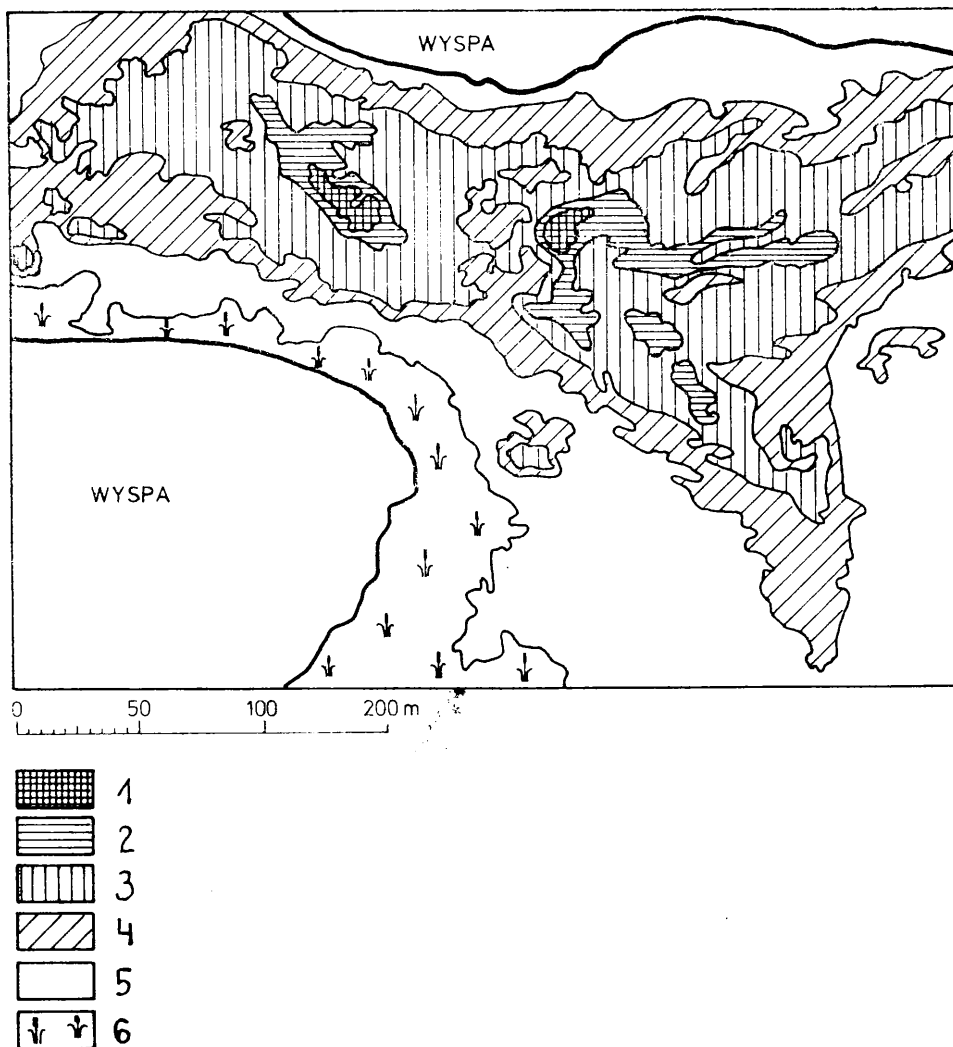
D — optical density in the point under examination,

D_2 — density of fogging,

$\Delta D_1 \dots \Delta D_n$ — correction arising from the decrease of the optical system luminosity.

wy jeziora z błędem nie przekraczającym 30%. Podniesienie dokładności możliwe jest po uwzględnieniu takich czynników, jak:

- wpływ składu gatunkowego fitoplanktonu na odbicie spektralne,
- wpływ głębokości występowania zakwitu na odbicie spektralne,
- zastosowanie cyfrowej techniki analizy i korekcji obrazu.



Rys. 7. Mapa powierzchniowego rozkładu intensywności zakwitów wód fragmentu Jeziora Wulpińskiego (Pójezierze Olsztynskie), opracowana na podstawie zdjęć lotniczych przetworzonych ekwitonalnie (powierzchnia objęta zdjęciem wynosi około 42 ha): 1 — powyżej 9500 organizmów/cm³, 2 — 6500—9500 organizmów/cm³, 3 — 3500—6500 organizmów/cm³, 4 — 500—3500 organizmów/cm³, 5 — poniżej 500 organizmów/cm³, 6 — roślinność przybrzeżna

Fig. 7. The map of the surface distribution of the water blossoming intensity in the part of the Wulpińskie Lake (Olsztyn lake district), elaborated on the basis of the airphotos equitonally converted (surface covered by the photo is about 42 ha):

1 — more than 9500 organisms/cm³, 2 — 6500—9500 organisms/cm³, 3 — 3500—6500 organisms/cm³, 4 — 500—3500 organisms/cm³, 5 — below 500 organisms/cm³, 6 — coastal vegetation

LITERATURA

- Lillesand T.M., Scarpace F.L., Clapp J.L., 1975: *Water Quality in Mixing Zones*, Photogrammetric Eng., pp. 285—298.
- Piech K.R., Walker D.E., 1972: *Thematic Mapping of Flooded Acreage*, Photogrammetric Eng., nr 10, vol. 38, pp. 1081—1090.
- Piech K.R., Walker D.E., 1974: *Interpretation of Soils*, Photogrammetric Eng., nr 1, vol. 40, pp. 87—94.
- Piech K.R., Walker J.E., 1971: *Aerial Color Analysis of Water Quality*, Journal of the Surveying and Mapp. Div., Nov. SU 2.
- Ritche J.C., Mc Henry J.R., 1976: *Remote Sensing of Suspended Sediments in Surface Waters*, Photogrammetric Eng., nr 12, vol. 42, pp. 1539—1554.

JERZY MIAŁDUN

AN ATTEMPT AT UTILIZING AERIAL PHOTOGRAPHS TO STUDY THE SURFACE DISTRIBUTION OF BLOOMING WATER

Summary

An intensive appearance of plankton is one of the factors pointing to the water pollution. This paper presents an attempt to utilize aerial photographs in studying this phenomenon. Various techniques of photography and different methods of photograph reading were exposed to analysis. Aerial photographs were taken from the plane „Wilga PZL” by means of the camera Pentacon SIX from the height of about 600 m. The received photographs were transformed equidistantly on the electronic — to — analog transducer MCDS — 4200 EP and a suitable concentration of phytoplankton was assigned to the zones of optic density. The results obtained from photograph reading concerning the fragment of the Wulpińskie Lake confirm the possibility of utilizing these methods and techniques in working out maps of surface distribution of the intensity of blooming water.

JERZY MIAŁDUN

ESSAI D'EXPLOITATION DES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES POUR L'ÉTUDE DE LA RÉPARTITION DU PHYTOPLANCTON SUPERFICIEL DES EAUX STAGNANTES

Résumé

Le phytoplancton constitue un des facteurs qui indiquent qu'il y a pollution de l'eau. Ce travail présente un essai d'exploitation des photographies aériennes pour l'étude de ce phénomène. Nous avons soumis à analyse l'utilité de diverses techniques de photographie et des méthodes d'analyse des photographies. Les photographies aériennes ont été prises à bord d'un avion Wilga PZL à l'aide d'un

appareil photo Pentacon SIX à l'altitude de 600 m environ. Nous avons converti les matériaux photographiques obtenus équitorialement sur un convertisseur électronique-analogique MCDS — 4200 EP, en appliquant aux zones de densité optique une concentration adéquate de phytoplancton. Les résultats obtenus à l'élaboration des conclusions des photographies d'un fragment du lac Wulpiński confirment la possibilité de leur exploitation lors de l'élaboration de cartes de la répartition superficielle de l'intensité du phytoplancton à la surface de l'eau.

Traduit par Michał Michalak