

TERESA BARANOWSKA

[528.711.029.672/.674:771.534.26]
629.785:543.3(26.05)

Wyznaczenie stref zróżnicowanej przezroczystości wód Zalewu Szczecińskiego na podstawie wielospektralnych obrazów skanerowych satelity Landsat-1

Jakość wody w rzekach i zbiornikach wodnych określa się metodami fizyko-chemicznymi, przy czym rozróżnia się trzy grupy pomiarów:

- pomiary fizyczne (temperatura, przezroczystość, mętność, gęstość);
- oznaczenia jonów i związków chemicznych (np. tlen, żelazo, siarczany, fenole);
- reakcje wskaźnikowe (utlenialność, biochemiczne zapotrzebowanie tlenu, chemiczne zapotrzebowanie tlenu, zagniwalność).

Pracochłonność i koszt pobierania próbek oraz przeprowadzania analiz powodują, że badania te są wykonywane jedynie w kilku wybranych punktach. Pobieranie większej liczby próby jest wykonywane jedynie sporadycznie.

Mogą tu być więc do pewnego stopnia pomocne metody pozyskiwania danych z pokładu samolotu lub satelity, które umożliwiają zarejestrowanie zjawisk wielkopowierzchniowych w stosunkowo krótkim czasie. Ponadto obrazy satelitarne pozwalają analizować zmiany zachodzące na danym obszarze, a to dzięki regularnej rejestracji tego samego terenu. Dane pozyskiwane metodami teledekacji są danymi z grupy pomiarów fizycznych, ponieważ dostarczają informacji odnośnie przezroczystości wody oraz rozkładu jej powierzchniowej temperatury.

Przezroczystość wody jest najczęściej mierzona za pomocą krążków Secchiego lub metodami fotoelektrycznymi i jest zależna od współczynnika ekstynkcji w danym zbiorniku wodnym. Empiryczna zależność między tymi dwiema wielkościami określana jest następującym wzorem (Łomniewski K., 1970):

$$D = \frac{1,7}{a}$$

gdzie

D — przezroczystość wody w metrach,

a — współczynnik ekstynkcji w m^{-1} .

Ekstynkcja, zwana również osłabieniem natężenia wiązki światła, stanowi łączny efekt absorpcji i rozpraszania światła przez dany ośrodek. Zarówno pochłanianie, jak i rozpraszanie światła w ośrodku wodnym są zależne od długości fali promieniowania elektromagnetycznego, natomiast są w zasadzie niezależne od temperatury i zasolenia (Jerlov N. G., 1968). Wielkość pochłaniania jest zależna od grubości warstwy wody przez którą przechodzi wiązka światła, przy czym zależność ta ma charakter funkcji wykładniczej. Natomiast rozpraszanie światła zależy przede wszystkim od wielkości i ilości cząsteczek zawieszonych w wodzie. Na wielkość osłabienia promieniowania elektromagnetycznego w jednolitym ośrodku wodnym dominujący wpływ ma zjawisko absorpcji. Jeśli więc w wodzie wystąpi zawiesina cząsteczek organicznych lub nieorganicznych, to spowoduje ona wzrost rozpraszania światła, a więc zwiększenie współczynnika ekstynkcji i zmniejszenie przezroczystości wody.

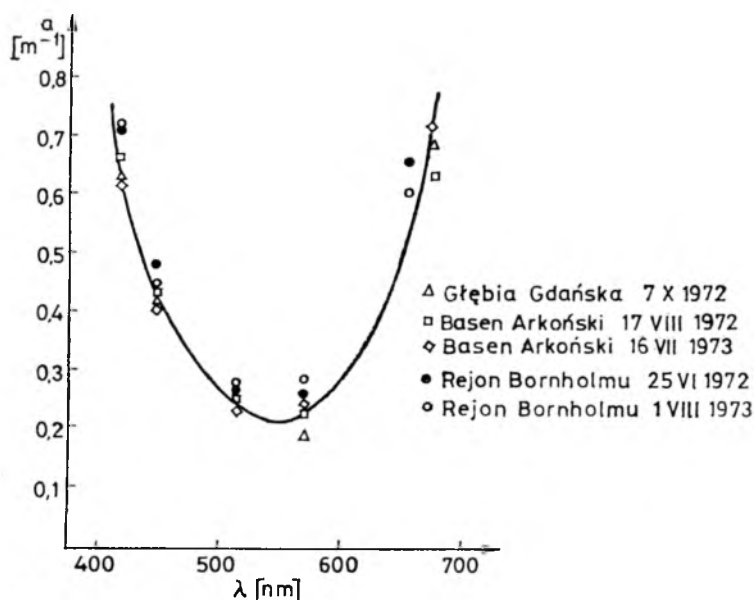
Zjawisko to jest wykorzystywane dla wyznaczania zmian przezroczystości wód w zbiornikach na podstawie zdjęć wykonywanych z pokładu samolotu lub z przestrzeni kosmicznej. Dla wstępnego sprawdzenia przydatności tej techniki podjęto próbę wyznaczenia zróżnicowania przezroczystości wód Zalewu Szczecińskiego na podstawie obrazów przekazanych przez satelitę Landsat-1 (tabl. 1).

Tablica 1
Zestawienie obrazów przekazanych przez satelitę
Landsat-1, wykorzystanych do wyznaczenia
zróżnicowania przezroczystości wód
Zalewu Szczecińskiego

Numer obrazu	Data zobrazowania
1021—09360	13 sierpnia 1972 r.
1345—09362	2 lipca 1973 r.
1399—09354	26 sierpnia 1973 r.

Badania przeprowadzone w Zakładzie Oceanologii PAN przez J. Derę i R. Haptera (Łomniewski K., Mańkowski W., Zaleski J. 1975) świadczą, że najmniejszy współczynnik ekstynkcji w wodach Bałtyku występuje dla promieniowania o długości rzędu 520—560 nm i wynosi około 0,20—0,25 m^{-1} , co w przypadku wody niezanieczyszczonej odpowiada przenikaniu promieniowania elektromagnetycznego na głębokość 8,5—6,8 m

(rys. 1). Wartości te odpowiadają w przybliżeniu wynikom pomiarów opracowanych przez Utterbacka dla wód przybrzeżnych (Łomniewski K. i inni, 1975). Ponieważ głębokość Zalewu Szczecińskiego dochodzi jedynie do 10 m, z przewagą głębokości rzędu 4—6 m, więc przeanalizowano obrazy wykonane w kanale 5, rejestrującym promieniowanie o długości



Rys. 1. Współczynnik ekstynkcji w górnej warstwie wód Bałtyku (Łomniewski K. i inni, 1975)

fali 600—700 nm, a więc przenikające na głębokość rzędu 2,5—5,5 m. W przypadku wykorzystania obrazów zarejestrowanych w kanale 4 ($\lambda = 500$ —600 nm) mogłyby wystąpić błędy spowodowane odbiciem promieniowania elektromagnetycznego od dna, ze względu na własności penetracyjne promieniowania tej długości. Z drugiej strony obrazy zarejestrowane w kanale 4 są obarczone znacznym wpływem rozpraszania światła w atmosferze, podczas gdy wpływ ten jest znacznie mniejszy dla obrazów zarejestrowanych w kanale 5.

Jak wykazują liczne prace (np. Yarger H. L. i inni, 1973; Pirie D. M., Steller D. D., 1973) zależność między gęstością optyczną filmu a wartością odczytu krążka Secchiego, a więc przezroczystością wody, ma charakter liniowy. Jeśli więc przezroczystość wody zostanie pomierzona w czasie wykonywania zdjęć, a następnie w tych samych punktach zostanie pomierzona gęstość optyczna zdjęcia, to sporządzony na tej podstawie wykres, umożliwi określenie przezroczystości wody na podsta-

wie pomiaru gęstości optycznej w dowolnym punkcie zdjęcia. Niestety, w dniach wykonania obrazów satelitarnych nie była mierzona przezroczystość wody w Zalewie Szczecińskim. W związku z tym wydzielono strefy odmiennych przezroczystości wód, nie określając głębokości na jaką przenika promieniowanie elektromagnetyczne. Na podstawie wyników wieloletnich pomiarów przezroczystości wód stwierdzono, że w zasadzie przezroczystość wód polskiej części Zalewu Szczecińskiego (Wielki Zalew) jest zawarta w granicach 115—15 cm, z przewagą przezroczystości 90—50 cm (Chlubek N., 1975; IMiGW, 1977). Tak niewielka przezroczystość wód oraz zastosowanie do analizy obrazów zarejestrowanych w kanale 5 pozwalają przyjąć założenie, że otrzymane wyniki nie będą obciążone błędami powodowanymi odbiciem promieniowania elektromagnetycznego od dna zbiornika wodnego.

W czasie przelotu satelity nad Zalewem Szczecińskim prędkość wiatru wahała się w granicach od 2 do 5 m/sek., a więc morze było słabo sfalowane. Jednak w przypadku średnich wysokości zenitalnych Słońca (30° — -60°) stan morza nie wpływa na współczynnik odbicia promieniowania elektromagnetycznego przez wodę (Jerlov N. G., 1968), a w przypadku analizowanych obrazów kąt ten był zawarty w granicach 42° — 54° . Wpływ prędkości i kierunku wiatru może natomiast przejawiać się w powstawaniu prądów dryfowych.

W celu wydzielenia fitoplanktonu, występującego w przypowierzchniowej i powierzchniowej warstwie wody, przeanalizowano obrazy zarejestrowane w kanale 6 ($\lambda = 700$ — 800 nm) i w kanale 7 ($\lambda = 800$ — 1100 nm), tzn. w zakresie podczerwieni fotograficznej. Fitoplankton, w przypadku Zalewu Szczecińskiego to w okresie letnim głównie sinice i zielenice, charakteryzuje się dużą zawartością chlorofilu, którego współczynnik odbicia w zakresie podczerwieni fotograficznej jest bardzo duży. Charakterystyki spektralne fitoplanktonu są bardzo zbliżone do charakterystyk spektralnych roślinności lądowej o dużej zawartości chlorofilu z tym, że są one w pewnym stopniu zmodyfikowane w wyniku własności spektralnych wody. Promieniowanie w zakresie podczerwieni fotograficznej jest pochłaniane w przypowierzchniowej warstwie wody, tzn. promieniowanie o długości 700—800 nm przez warstwę wody do głębokości 2,5 cm, a o długości 800—1100 nm przez warstwę wody do głębokości 1,5 cm. Dzięki temu w przypadku dużej koncentracji fitoplanktonu w przypowierzchniowej warstwie wody następuje jego wyraźne zobrazowanie na tle jednolitego fototonu wody, w której fitoplankton nie występuje w ogóle lub, co najwyżej w niewielkich ilościach.

Analizę gęstości optycznej filmu, a więc związanej z nią przezroczystości wody, wykonano za pomocą elektroniczno-analogowego systemu analizy obrazów Multicolor Data System (MCDS) produkcji japońskiej

Tablica 2

Podzakresy gęstości optycznej wydzielone dla wód
Zalewu Szczecińskiego i Bałtyku na obrazie 1021—09360
(MSS-5) — 13 sierpnia 1972 r.

Podzakres gęstości optycznej	Zalew Szczeciński	Morze Bałtyckie
I	1,02—1,16 D	—
II	1,16—1,30 D	—
III	1,30—1,44 D	—
IV	1,44—1,58 D	1,44—1,58 D
V	1,58—1,72 D	1,58—1,72 D
VI	1,72—1,86 D	1,72—1,86 D
VII	—	1,86—2,00 D
VIII	—	2,00—2,14 D
IX	—	>2,14 D

Tablica 3

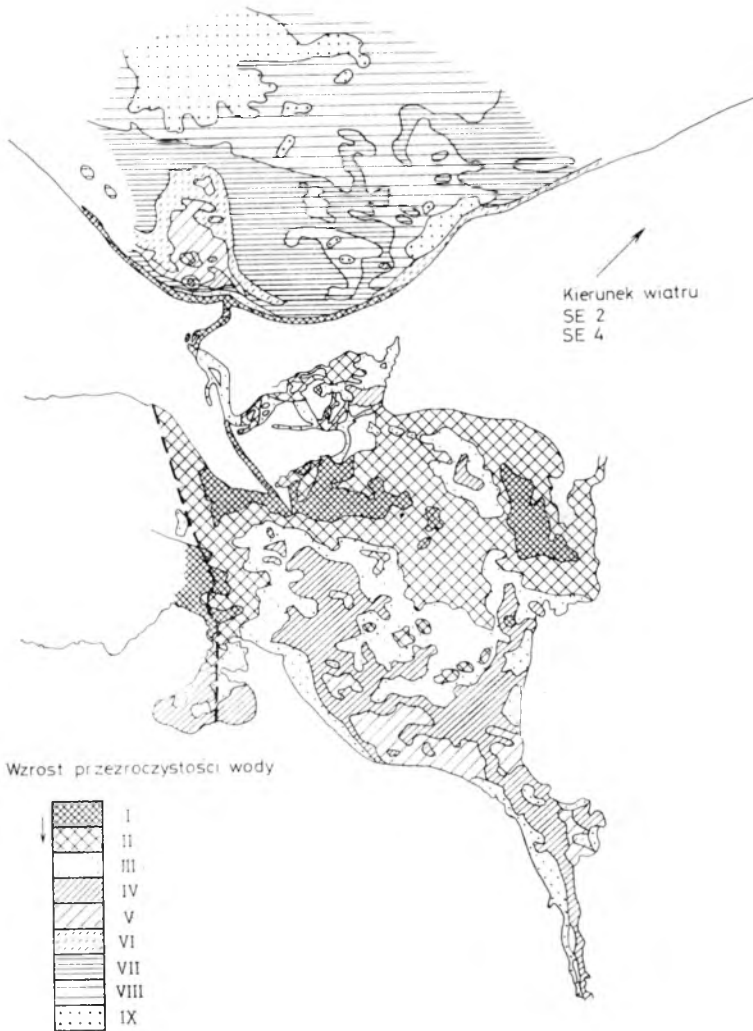
Podzakresy gęstości optycznej wydzielone dla wód
Zalewu Szczecińskiego i Bałtyku na obrazie 1345—09362
(MSS-5) — 2 lipca 1973 r.

Podzakres gęstości optycznej	Zalew Szczeciński	Morze Bałtyckie
I	1,77—1,91 D	—
II	1,91—2,05 D	—
III	2,05—2,19 D	2,05—2,19
IV	2,19—2,33 D	2,19—2,33 D
V	—	2,33—2,47 D

Tablica 4

Podzakresy gęstości optycznej wydzielone dla wód
Zalewu Szczecińskiego i Bałtyku na obrazie 1399—09354
(MSS-5) — 26 sierpnia 1973 r.

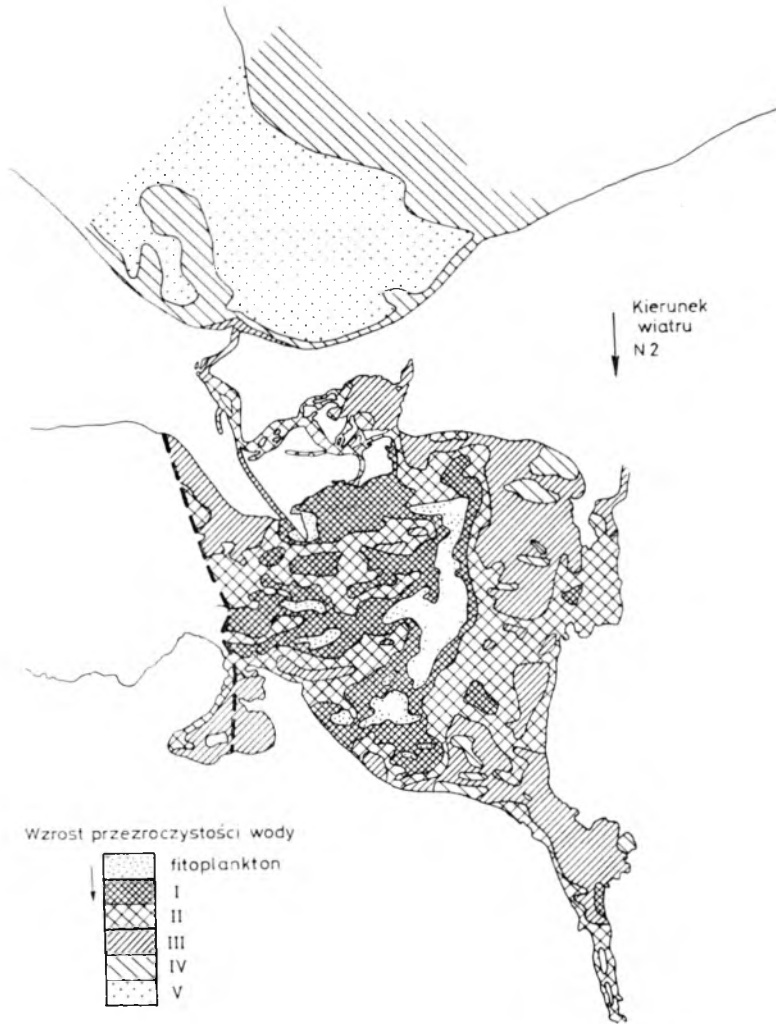
Podzakres gęstości optycznej	Zalew Szczeciński	Morze Bałtyckie
I	1,86—2,00 D	—
II	2,00—2,14 D	—
III	2,14—2,28 D	2,14—2,28 D
IV	>2,28 D	>2,28 D



Rys. 2. Zróżnicowanie przezroczystości wód Zalewu Szczecińskiego w dniu 13. 08. 1972 r.

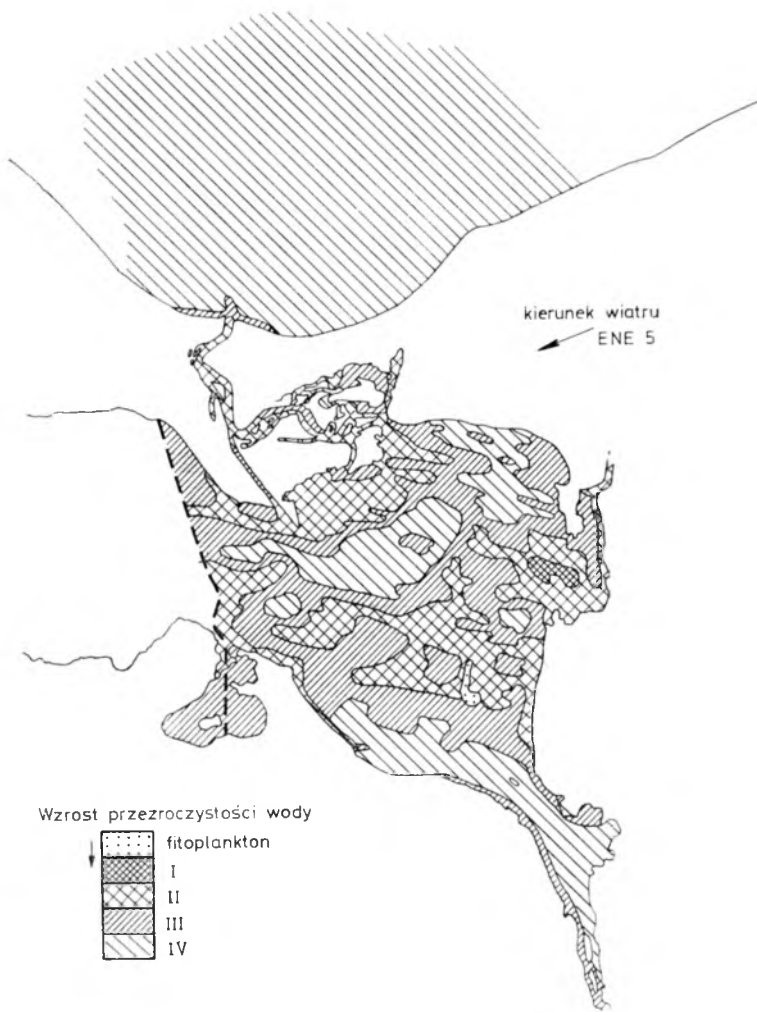
firmy Nac Incorporated, umożliwiającego podział gęstości optycznych występujących na analizowanym zdjęciu na 12 podzakresów. Jak już wspomniano uprzednio, zależność między gęstością optyczną zdjęcia a przezroczystością wody ma charakter liniowy. Dlatego przy opracowaniu na MCDS gęstość optyczną dzielono na 12 równych podzakresów po 0,14 D.

Ponieważ zakres gęstości optycznej objętej analizą przez MCDS jest zależny od zastosowanej przysłony kamery telewizyjnej czytującej zdję-



Rys. 3. Zróżnicowanie przezroczystości wód Zalewu Szczecińskiego w dniu 2.07.1973 r.

cie, więc przystosowany dla poszczególnych zdjęć dobierano w taki sposób, aby wydzielenie gęstości optycznych dla Zalewu Szczecińskiego i Bałtyku było jak największe. Dla obrazów satelitarnych Zalewu Szczecińskiego wykonanych w poszczególnych dniach wydzielono od 4 do 6 podzakresów gęstości optycznej, co odpowiada liczbie podzakresów wydzielanych dla wód przy zastosowaniu analogowych systemów analizy obrazów (McCaughey i inni, 1973; Klemas V. i inni, 1973). Dla strefy przybrzeżnej Bałtyku wydzielono 7 podzakresów dla obrazu zarejestrowanego w dniu 13 sierpnia 1972 r. i 3 podzakresy dla obrazu zarejestrowanego w dniu 3 lipca



Rys 4. Zróżnicowanie przezroczystości wód Zalewu Szczecińskiego w dniu 26. 08. 1973 r.

1973 r. Jakość obrazu zarejestrowanego w dniu 26 sierpnia 1973 r. uniemożliwiła wydzielenie podzakresów gęstości optycznej w strefie przybrzeżnej, a także przyczyniła się do tego, iż na zdjęciu tym wydzielono mniej podzakresów gęstości optycznej niż na zdjęciach wykonanych w dwóch pozostałych dniach. Zestawienie podzakresów gęstości optycznych wydzielonych dla poszczególnych zdjęć podano w tablicach 2, 3 i 4.

Na podstawie wydzielonych podzakresów gęstości optycznej sporządzono szkice fotointerpretacyjne zmian przezroczystości wód Zalewu Szczecińskiego w skali 1 : 300 000 (rys. 2, 3 i 4). Ze względu na brak

synchronicznych pomiarów przezroczystości wody za pomocą krążków Secchiego, nie można było przypisać poszczególnym strefom wartości liczbowych, wyrażonych w centymetrach. Można jednak zaobserwować względne zmiany przezroczystości wody w Zalewie w danym dniu. Na ogół przezroczystość wód wprowadzanych do Zalewu Szczecińskiego przez Odrę była wyższa niż wód przylegających do Roztoki Odrzańskiej. Natomiast wody Bałtyku charakteryzują się wyższą przezroczystością niż wody Zalewu Szczecińskiego i można prześledzić proces mieszania się wód Zalewu Szczecińskiego z wodami Bałtyku. W układzie poszczególnych stref przezroczystości wód Wielkiego Zalewu widać pewien wpływ prądów powierzchniowych, spowodowanych przez wiatry, choć ze względu na niewielką ich siłę w tych dniach, wpływ ten jest niewielki.

Na obrazie zarejestrowanym w dniu 3 lipca 1973 roku stwierdzono występowanie dużych skupisk fitoplanktonu. Najintensywniejszy rozwój fitoplanktonu zaobserwowano w środkowej części Wielkiego Zalewu, odpowiadającej w przybliżeniu trasie statków kursujących na szlaku stanowiącym odgałęzienie Toru Wodnego Szczecin — Świnoujście, a rozpoczynającego się przy III Bramie Torowej. Liczne skupiska fitoplanktonu stwierdzono również wzdłuż zachodniej strony Toru Wodnego Szczecin — Świnoujście.

Na obrazie zarejestrowanym w dniu 26 sierpnia 1973 r. jest widoczny znaczny zanik rozwoju fitoplanktonu w porównaniu do początku lipca, kiedy to zostało wykonane poprzednie zobrazowanie.

Podsumowanie

Niniejsze opracowanie należy traktować jako orientacyjne określenie rozkładu przezroczystości wód Zalewu Szczecińskiego na podstawie zdjęć satelitarnych. Pozwoliło ono jednak uchwycić po raz pierwszy zmiany przezroczystości wody w całym Zalewie w jednym momencie.

Synchroniczny z przelotem satelity pomiar przezroczystości wody w wybranych punktach, a także analiza składu fizyko-chemicznego próbek wody pobranych w tych samych punktach, umożliwiłyby opracowanie map przezroczystości wody oraz korelację z takimi parametrami jakości wody, jak ilość i skład zawiesiny, zawartość chlorofilu i tlenu. W celu porównania obrazów wykonanych w różnych dniach należałoby również przeprowadzić kalibrację klinów szarości, co ze względu na jedynie orientacyjny charakter przedstawianego opracowania, nie było spełnione w niniejszej pracy.

Zastosowanie cyfrowej analizy obrazów satelitarnych pozwoliłoby również zwiększyć liczbę wydzielanych stref przezroczystości wody.

L I T E R A T U R A

- McCaughey J.R., Yarger H.L., James G.W., Magnuson L.M., Marzolf G.R., 1973, *ERTS-1 reservoir monitoring studies in Kansas. Remote sensing and water resources management*. Proc. No 17, American Water Resources Association, June 1973.
- Chlubek N., 1975, *Hydrochemia a dynamika wód Zalewu Szczecińskiego*. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, Nr 35. Instytut Technologii Chemicznej, Szczecin 1975.
- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej — Oddział Morski w Gdyni, 1977. Dane meteorologiczne dla punktów „Trzebież” i „Szczecin Dąbie”, maszynopis, 1977.
- Jerlov N.G., 1968, *Optical oceanography*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam 1968.
- Klemas V., Otley M., Wethe C., 1973, *Monitoring coastal water properties and current circulation with ERTS-1*. Third ERTS-1 Symposium. Goddard Flight Center. Washington, D. C., December 10—14, 1973.
- Łomniewski K., 1970, *Oceanografia fizyczna*. PWN, Warszawa 1970.
- Łomniewski K., Mańkowski W., Zaleski J., 1975, *Morze Bałtyckie*. PWN, Warszawa 1975.
- Pirie D.N., Steller D.D., 1973, *California coastal processes study*. Third ERTS-1 Symposium. Goddard Space Flight Center. Washington D. C., December 10—14, 1973.
- Yarger H.L., McCaughey J.R., James G.W., Magnuson L.M., Marzolf G.R., 1973, *Water turbidity detection using ERTS-1 imagery*. Symposium on significant results obtained from the ERTS-1. Vol. I, Technical Presentations, Sec. A. Goddard Space Flight Center, New Carrollton, Maryland, March 5—9, 1973.

ТЕРЕСА БАРАНОВСКА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ
ВОДЫ В ЩЕТИНСКОМ ЗАЛИВЕ НА ОСНОВЕ
МНОГОЗОНАЛЬНЫХ СКАНЕРНЫХ СНИМКОВ СПУТНИКА
LANDSAT-1

Р е з ю м е

Определение качества воды традиционными методами в больших водохранилищах является трудоемким и дорогим ввиду большого количества бранных проб, а полученные результаты не доставляют информации о качестве воды во всем водоеме. Пригодны здесь таким образом методы получения данных с борта самолета или спутника, которые дают возможность изображения крупноповерхностных явлений в короткое время. Кроме того космические снимки дают возможность анализировать изменения происходящие на данной территории, а то благодаря регулярной регистрации той же самой местности.

Космические снимки предоставляют информацию относительно прозрачно-

сти воды, которую затем можно связывать с другими параметрами качества воды, такими как состав и содержание взвеси, или содержание хлорофилла.

Понижение прозрачности воды является результатом роста коэффициента экстинкции, вызванного увеличением количества взвеси органических и неорганических частиц в воде. Вместе с возрастающей прозрачностью воды возрастает также оптическая плотность изображения воды на фотопленке, причем зависимость имеет линейный характер. Итак, если во время исполнения съемки измерить глубину видимости белого диска в избранных пунктах, а потом в этих же пунктах измерить оптическую плотность фотоснимка, то составленный на этой основе график дает возможность определять прозрачность воды на основе измерения оптической плотности в произвольном пункте снимка.

Для предварительной проверки пригодности космических снимков для определения дифференциации прозрачности воды больших водоемов использовано изображения переданные спутником Landsat-1 дня 13.08.1972 (№ 1021-09360), 2.07.1973 (№ 1345-09362) и 26.08.1973 (№ 1399-09354), которые охватывали Щетинский залив. К сожалению, во время выполнения космической съемки не была измерена прозрачность воды в Щетинском заливе. В связи с этим выделено единственно зоны разных прозрачностей воды, не определяя глубины на какую проникает электромагнитное излучение.

Для анализа использовано снимки выполненные в зоне 5, регистрирующей излучение на длине волн 600—700 nm, которое в случае незагрязненной воды проникает на глубину ряда 2,5—5,5 м. Исключает это возможность появления эффектов отражения от дна, т.к. глубина Щетинского залива доходит единственно до 10 м, с преобладающей глубиной ряда 4—6 м. Также анализ результатов многолетних измерений прозрачности воды польской части Щетинского залива свидетельствует, что прозрачность этих вод находится в границах 115—15 см, с преобладанием прозрачности 90—50 см, что также исключает ошибки вызванные отражением излучения этой длины от дна.

Отказываясь от принятия к анализу снимков выполненных в зоне 4, регистрирующей излучение длиной 500—600 nm, принято во внимание не только большее проникновение этой длины, но и факт, что изображения регистрируемые в этом диапазоне волн обременены значительным влиянием рассеяния света в атмосфере, в то время для изображений регистрируемых в зоне 5 влияние это значительно меньше.

С целью выделения фитопланктона, выступающего в поверхностном и приповерхностном слое воды, проанализировано снимки зарегистрированные в зоне 6 ($\lambda = 700\text{—}800$ nm) и в зоне 7 ($\lambda = 800\text{—}1100$ nm) т.е. в диапазоне фотографического инфракрасного излучения.

Фитопланктон, в случае Щетинского залива это в летнем периоде главным образом цианоз и зелёные водоросли, характеризуется большим содержанием хлорофилла, коэффициент отражения которого в пределе фотографического инфракрасного излучения очень большой. Кривые спектральной яркости фитопланктона очень близки к спектральным кривым материковой растительности с большим содержанием хлорофилла. Излучение в диапазоне фотографического инфракрасного излучения поглощается в приповерхностном слое воды до глубины 1,5—2,5 см. Благодаря чему, в случае большой концентрации фитопланктона в приповерхностном слое воды, изображается он отчетливо на фоне однородного фототона воды, в которой не выступает фитопланктон.

Анализ оптической плотности фотоизображения, а таким образом связанной с ней прозрачности воды, произведено с помощью электронно-аналоговой системы анализа изображений Multicolor Data System японского производства фирмы Nac Incorporated, дающей возможность деления оптической плотности, выступающей на анализируемом изображении, или цветном синтетизированном снимке на 12 поддиапазонов. Для космических снимков, выполненных в отдельных днях, выделено от 4 до 6 поддиапазонов оптической плотности, что соответствует количеству поддиапазонов выделяемых для вод при применении аналоговых систем анализа снимка.

На основе выделенных поддиапазонов оптической плотности составлены фо-тоинтерпретационные картосхемы изменений прозрачности воды Щетинского залива в масштабе 1:300 000. Ввиду отсутствия синхронических измерений прозрачности воды с помощью белого диска не можно было приписать отдельным зонам числовых величин, выраженных в сантиметрах. В первый раз можно было однако заметить изменения прозрачности воды во всем заливе в одном моменте. С целью сравнения снимков выполненных в разных днях следовало бы также произвести калибровку клинов серости, что ввиду на единственно ориентировочный характер данной разработки, не было в этом случае выполнено.

Перевод: Róża Tołstikowa

TERESA BARANOWSKA

WATER TRANSPARENCY IN SZCZECIN BAY DETERMINED FROM MULTISPECTRAL LANDSAT IMAGERY

S u m m a r y

The evaluation of the quality of water in large reservoirs by traditional methods is very costly and time-consuming. While they require the collection of numerous samples and laborious analysis, traditional methods do not guarantee reliable information on the water quality for the whole reservoir.

Remote sensing techniques provide reliable data on large-scale phenomena in a very short period of time. In addition, thanks to the regularity of coverage, satellite imagery allows for an analysis of the dynamics of the phenomena being investigated. Satellite imagery provides information on water transparency. This information may then be correlated with information on other parameters of water quality, such as chemical composition, suspended sediment load and chlorophyll content.

A decrease in the transparency of water body is the result of an increasing attenuation coefficient; growth of the latter being caused by the increase of suspended sediment load (both organic and inorganic matter). The optical density of the image of a water body is directly proportional to its transparency.

On the basis of conventional measurements of water transparency carried out simultaneously with image acquisition a chart may be constructed enabling

quantification of water transparency on any chosen point of the image by measuring optical density at this point.

The initial evaluation of satellite imagery of the delimitation of water transparency over large water bodies has been carried out by the author on the basis of Landsat-1 images of Szczecin Bay in north-western Poland, registered on August 13, 1972 (frame No. 1021-09360), July 2, 1973 (frame No. 1345-09362), and August 26, 1973 (frame No. 1399-09354).

Since no direct measurements of water transparency in the area were available for the given dates, the results of interpretation show only the spatial distribution of water transparency as measured on the photographic material and are not calibrated in direct measurements. This analysis was done with images taken in channel 5 (600—700 nm). The electromagnetic radiation of this wavelength penetrates non-polluted water to a depth of 2.5 to 5.5 m. Since the maximum depths of Szczecin Bay is about 10 m and the average depth is in the range of 4 to 6 m, using this spectral band the investigator does not have to consider the effect of reflection from the bottom.

Records collected during the course of many years indicate that the average transparency of waters in the Polish portion of Szczecin Bay is on the order of 115 to 15 cm (transparency in the range of 90 to 50 cm occurring most frequently). The above information also indicates that the effects of reflection from the sea bottom can be disregarded during investigation.

Imagery taken in channel 4 was not analysed, since the electromagnetic radiation of a wavelength 500 to 600 nm penetrates the water to much greater depths and, in addition, images from channel 4 are affected by the diffusion of light in the atmosphere. The influence of diffusion is considerably lower in channel 5.

The images registered in the infrared portion of the spectrum i.e. channel 6 (700—800 nm) and channel 7 (800—1100 nm) have been utilized for investigations of phytoplankton occurring on the surface and near the surface of water.

In summer, waters of Szczecin Bay abound in algae of the class Cyanophyceae which have a very high chlorophyll content. The reflection coefficient of phytoplankton in the infrared portion of the spectrum is very high. The spectral signatures of phytoplankton are similar to those of green plants.

Owing to the fact that infrared radiation is absorbed in the water to depths of 1.5 to 2.5 m, any significant concentration of phytoplankton near the surface is clearly visible on the image.

Optical density analysis was performed with the use of Multicolor Data System produced by the Japanese firm NAC, Inc. This analog system permits the separation of 12 classes of phototones appearing on images or colour composites. A separation of 4 to 6 classes of optical density is believed to be sufficient for the evaluation of water bodies. Accordingly, our classification has led to the separation of 6 density classes for each evaluated Landsat scene.

Photointerpretation sketches, showing changes in water transparency, were drawn on map on a scale of 1:300 000. The result could not be expressed with respect to direct measurements since no ground truth was available. The results of our investigations make it possible, for the first time, to observe the distribution of water transparency over the entire area of Szczecin Bay at a given moment. A comparison of Landsat frames should be preceded by the calibration of grey wedges. Because of the preliminary nature of the investigations, such a calibration was not performed.

Translation: Wiesława Sujkowska

TERESA BARANOWSKA

DÉTERMINATION DES ZONES DE TRANSPARENCE DES EAUX
DIFFÉRENCIÉE DE LA LAGUNE ZALEW SZCZECIŃSKI À BASE
D'IMAGES MULTISPECTRALES DE SCANNER DU SATELLITE
LANDSAT-1

Résumé

La détermination de la qualité de l'eau dans de grands réservoirs par les méthodes traditionnelles demandent une importante dépense d'énergie et de frais, vu le nombre élevé des échantillons prélevés et les résultats de ce travail ne fournissent pas d'informations sur la qualité de l'eau dans le réservoir entier. Les méthodes permettant la réception de données du bord d'un avion ou d'un satellite — ce qui assure l'illustration des phénomènes survenant sur de vastes surfaces dans un bref délai — sont donc très utiles. En plus, les images de satellite permettent d'analyser des changements qui se produisent dans une région donnée et cela grâce à l'enregistrement régulier du même terrain.

Les images de satellite donnent des informations concernant la transparence de l'eau qui peut être ensuite mise en corrélation avec d'autres paramètres tels que la position et teneur en suspension ou la teneur en chlorophylle.

L'abaissement de la transparence de l'eau est le résultat de l'accroissement de l'indice d'extinction causé par l'augmentation de quantité de suspension de particules organiques et inorganiques dans l'eau. Au fur et à mesure de l'amélioration de la transparence de l'eau, on note aussi l'accroissement de la densité optique de l'image d'eau sur le film et cette relation possède un caractère linéaire. Par conséquent, si, au cours de l'exécution des prises de vue on mesure la transparence de l'eau sur les points choisis et ensuite on mesure sur les mêmes points la densité optique sur le film, la courbe établie en cette base permet de déterminer la transparence de l'eau grâce à la mesure de la densité optique prise sur chaque point de ce film.

En vue d'un contrôle préliminaire de l'utilité des images de satellite pour déterminer la différenciation de la transparence de l'eau dans de grands réservoirs, on a examiné les images de satellite de la lagune Zalew Szczeciński remises par le satellite Landsat-1 le 13 août 1972 (N° 1021-09360) le 2 juillet 1973 (N° 1345-09362) et le 26 août 1973 (N° 1399-09354). Malheureusement, la transparence de l'eau de la lagune Zalew Szczeciński n'a pas été mesurée les jours d'exécution des images de satellite. C'est pourquoi on a déterminé seulement les zones de différente transparence de l'eau dans définir la profondeur de la diffusion du rayonnement électromagnétique.

On a utilisé pour l'analyse les images exécutées dans le canal n° 5 enregistrant le rayonnement à onde de longueur entre 600—700 nm qui, dans le milieu de l'eau non polluée, pénètre jusqu'à la profondeur de 2,5 m à 5,5 m. Cela élimine la possibilité des effets de la réflexion de fond, car la profondeur de la lagune Zalew Szczeciński n'atteint que 10 m avec la prépondérance des profondeurs de 4 m à 6 m. Aussi l'analyse des résultats de longues années des mesures de la transparence de l'eau dans la partie polonaise de la lagune Zalew Szczeciński (fig. 2 et 3) montre-t-elle que la transparence de ces eaux se renferme entre 115 cm et 15 cm

et dans la plupart de cas entre 90 cm et 50 cm ce qui exclue aussi les erreurs causées par la réflexion de fond du rayonnement de cette longueur d'onde.

En renonçant à l'utilisation pour l'analyse des images exécutées dans le canal n° 4 qui enregistre le rayonnement à la longueur d'onde entre 500 nm et 600 nm on a tenu compte non seulement de la plus grande pénétration d'un tel rayonnement, mais aussi du fait que les images enregistrées dans ce canal sont chargées d'une importante influence de la dispersion de la lumière dans l'atmosphère tandis que cette influence est beaucoup moins considérable pour les images enregistrées dans le canal n° 5.

En vue de la distinction du phytoplancton existant dans la couche d'eau limite et superficielle, on a analysé les images enregistrées dans le canal n° 6 ($\lambda = 700-800$ nm) et dans le canal n° 7 ($\lambda = 800-1100$ nm) c'est à dire dans la zone infrarouge photographique.

Le phytoplancton de la lagune Zalew Szczeciński est représenté dans la période d'été par les cyanoses et les algues vertes (chlorophycées). Il se caractérise par une grande teneur en chlorophylle dans l'indice de réflexion dans la zone d'infrarouge photographique est très important. Les caractéristiques spectrales du phytoplancton sont très rapprochées de celles de la végétation terrestre à grande teneur en chlorophylle. Le rayonnement dans la zone d'infrarouge photographique est absorbé dans la couche limite de l'eau jusqu'à la profondeur de 1,5 à 2,5 cm. Grâce à cela, dans le cas d'une grande concentration du phytoplancton dans la couche limite de l'eau a lieu l'illustration de ce rayonnement sur le fond homogène du photo de l'eau dépourvue du phytoplancton.

L'analyse de la densité optique du film, c'est à dire de la transparence de l'eau liée à celle-ci a été effectuée à l'aide du système analogue d'analyse des images — Multicolor Data System. Ce système commercialisé par la Société japonaise Nac Incorporated permet de diviser la densité optique enregistrée sur la photo analysée ou de diviser la composition en couleur à 12 sous-zones. On a choisi de 4 à 6 sous-zones de la densité optique pour les images de satellite exécutées dans les journées respectives ce qui correspond au nombre de sous-zones déterminées pour les eaux en cas d'application des systèmes analogues d'analyse de l'image.

A base de sous-zones choisies de la densité optique on a élaboré le croquis de photo-interprétation des changements de la transparence des eaux de la lagune Zalew Szczeciński à l'échelle 1:300.000. Faute de mesures synchronisées de la transparence de l'eau à l'aide des disques de Secchie, il n'était pas possible d'attribuer des valeurs numériques exprimées en centimètres aux zones respectives. Mais pour la première fois l'observations de la transparence de l'eau de la lagune entière Zalew Szczeciński en même temps est devenue possible. En vue de comparer les images exécutées dans de différent jour, il faudrait effectuer aussi un calibrage des coins grisées. Cette élaboration n'ayant qu'un caractère provisoire, le procédé de calibrage n'a pas été réalisé.

Traduction: Bohdan Jakubowski

