

Tadeusz Zbigniew Dworak*, Maria Bonikowska**

Teledetekcyjny monitoring środowiska***

1. Wstęp

Problem monitoringu środowiska pojawił się w nauce ponad pół wieku temu, chociaż jego początki były nie dość precyzyjnie sformułowane. Nie istniało wtedy nawet ściśle określenie samego pojęcia monitoringu, nie mówiąc już o teledetekcji.

Istnieją wprawdzie przekazy historyczne, że już w starożytnym Egipcie podejmowano coś w rodzaju prób monitoringu związanego z dorocznym wylewem Nilu. Chociaż powtarzał się on regularnie, to kapłani egipscy nigdy nie byli pewni, czy w górach Abisynii nie nastąpi jakiś kataklizm i życiodajny Nil, którego darem był Egipt, przypadkiem nie wyschnie. Jako swoisty „monitoring teledetekcyjny” wykorzystywano zatem obserwacje heliakalnych wschodów Syriusza, najjaśniejszej gwiazdy nieba, które następowały około 22 lipca (według naszej rachuby czasu). Pojawienie się Syriusza na niebie tuż przed wschodem Słońca zwiastowało nieodmiennie rychły wylew Nilu, co obiecywało urodzajny rok.

Również inne starożytne kultury i cywilizacje – tzw. Głównego Pasa Cywilizacji [1, 2] obejmującego świat śródziemnomorski, Mezopotamię, dolinę Indusu, Chiny, wreszcie Amerykę Środkową – starały się na podstawie obserwacji pewnych zjawisk na sferze niebieskiej, w atmosferze i na powierzchni Ziemi ocenić ewentualny, przyszły stan środowiska. Nie zawsze się to jednak udawało i wiele z tych starożytnych cywilizacji prowokowało zupełnie niechcący katastrofę ekologiczną własnego środowiska naturalnego, a niekiedy nawet zagładę całego państwa oraz społeczeństwa. Stąd tak ważne znaczenie ma monitoring środowiska, prowadzony od ubiegłego wieku już w sposób najzupełniej świadomy. Od około 40 lat monitoring środowiska wspierają wydatnie metody teledetekcyjne i fotogrametryczne.

Można by nawet stwierdzić, że pierwszym, rzeczywistym procesem monitoringowym – i to w dodatku teledetekcyjnym! [6] – były powszechnie prowadzone

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Kształtowania i Ochrony Środowiska

** Doktorantka na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH

*** Praca wykonana w ramach badań własnych AGH, nr umowy 10.10.150.728

sposrożeń... astronomiczne, a zwłaszcza przeprowadzone już ponad 125 lat temu obserwacje Marsa w trzech barwach (czyli wielospektralnie!): czerwonej, żółtej i niebieskiej, co ostatecznie pozwoliło ustalić, iż ta planeta też jest spowita atmosferą [9]. Również w II połowie XIX wieku Robert Wilhelm Bunsen i Gustav Robert Kirchhoff opracowali metodę analizy spektralnej pozwalającej na identyfikację każdego pierwiastka, dzięki czemu można zdalnie, czyli teledetekcyjnie, poznawać skład chemiczny odległych gwiazd. Po tej dygresji powrócimy do spraw ochrony i monitoringu ziemskiego środowiska, już we współczesnym wydaniu.

Istnieje wciąż obawa przed katastrofalnymi, a nieodwracalnymi zmianami w naszym środowisku z powodu wzmagającej się w ciągu XX wieku antropopresji, a więc zagadnieniu monitoringu środowiska należy przyznać bezwzględny priorytet. Jednak w *Programie PMŚ* [13] prawie brak jest wzmianki o metodach teledetekcyjnych i program takiego monitoringu jak dotąd nie istnieje.

Nowe podejście do tego problemu zawierają *Wskazówki do modernizacji monitoringu jakości powietrza pod kątem dostosowania systemu do wymagań przepisów Unii Europejskiej...* [22], gdzie sugeruje się wreszcie – w związku z dyrektywami UE – konieczność zastosowania dla celów monitoringowych również metod teledetekcyjnych oraz tworzenia map sozologicznych (do czego jest niezbędna również technika GPS [10] oraz metodyka GIS [16]).

2. Monitoring bezpośredni a monitoring teledetekcyjny

Na początek wprowadzimy – zgodnie z monografią Jacka Walczewskiego [20] – rozróżnienie pomiędzy bezpośrednimi metodami monitoringu a interesującymi dla nas metodami monitoringu teledetekcyjnego, który już od ponad 30 lat zyskuje należne uznanie w inżynierii środowiska.

Metody bezpośrednie polegają głównie na pomiarach – np. pól fizycznych, wielkości chemicznych czy wartości bioindykatorów – prowadzonych w punktowych stanowiskach pomiarowych, w których uzyskuje się absolutne wartości mierzonego parametru (z dokładnością zależną od stosowanej aparatury). Dobór tych stanowisk pomiarowych wykorzystuje podstawową sieć geodezyjną (8 × 8 km). Jednak zależy on od wielkości powierzchni podlegającej monitorowaniu. Na przykład w przypadku rozległych terenów – obszarów stepowych, siedlisk leśnych, dużych akwenów, rozległych monokultur polowych – rozmieszczenie punktów pomiarowych może być nawet rzadsze od podstawowej sieci geodezyjnej ze względu na w miarę jednolity charakter badanego terytorium. Pozwalało to zakładać niezbyt wielkie zmiany skali przestrzennej procesów przyrodniczych; nie bez znaczenia były też względy ekonomiczne.

Inaczej przedstawia się oczywiście kwestia tzw. obszarów zwartych, niejednorodnych, do których należą przede wszystkim: rejony przemysłowe oraz ośrodki miejsko-przemysłowe, urozmaicone rezerwy przyrody, zróżnicowane, acz niezbyt rozległe obszary chronionego krajobrazu. W danej sytuacji dla celów monitoringu – zwłaszcza że bywają to obszary poddane silnej antropopresji – nie wystarcza już podstawowa sieć geodezyjna. Wprowadza się, co już rozpoczął ponad 50 lat temu Państwowy Wojewódzki Inspektorat Sanitarny, skalę (sieć) mającą rozmiary 2×2 km, czyli co najmniej cztery punkty pomiarowe w jednostkowym kwadracie. Przytaczane tu rozważania dotyczą pomiarów różnego rodzaju parametrów oraz procesów środowiska: atmosferycznych, hydrologicznych, biologicznych, a także antropogenicznych – dokonywanych różnymi metodami, które bywają i czasochłonne, i dość kosztowne. Jest to niestety jeden z poważniejszych mankamentów monitoringu bezpośredniego, ponieważ może się zdarzyć, że nie uzyska się wyników w czasie realnym, co przecież powinno być istotną cechą monitoringu. Nie dotyczy to oczywiście pomiarów ciągłych. Drugim problemem metody pośredniej jest nieciągłość przestrzenna pomiarów, co zmusza nas do interpolacji wyników, więc pewni uczeni uznają to za „błąd w sztuce”, zwłaszcza wobec niektórych komponentów środowiska. Wprawdzie w przypadku monitoringu na terenach ściśle przemysłowych zagęszczano dodatkowo sieć pomiarową, ale były to wyjątkowe i specyficzne przypadki.

Inną metodą prowadzenia monitoringu środowiska jest właśnie monitoring teledetekcyjny. Swego czasu, kiedy rozpoczynano jego wprowadzanie, wydawał się on panaceum na wszelkie problemy oceny stanu środowiska. Sytuacja nie okazała się jednak tak klarowna, jak się początkowo wydawało, co będzie przedmiotem dalszych rozważań. Tabela 1 przedstawia podział [8] morfologiczny metod teledetekcyjnych.

Tabela 1. Morfologiczny podział metod teledetekcyjnych

Metody	Bierne	Czynne
Naziemne	Fotograficzne Pomiary fotometryczne Spektrometr korelacyjny	Pomiary radarowe Pomiary sodarowe Pomiary lidarowe
Lotnicze	Fotograficzne i termowizyjne Pomiary radiometryczne Spektrometr korelacyjny	Pomiary lidarowe SAR SLAR
Satelitarne	Obrazy wielospektralne Pomiary mikrofalowe Pomiary fotometryczne	Pomiary lidarem dużego zasięgu (projekt) Pomiary radarowe

Wszystkie naziemne i lotnicze metody fotograficzne dotyczą wszelkich rodzajów fotografii (ortochromatycznych, panchromatycznych, barwnych) – również techniki zdjęć spektrostrefowych, szczególnie użytecznych do wczesnego wykrywania uszkodzonego drzewostanu.

Ponadto w badaniach teledetekcyjnych termin „pomiarów fotometrycznych” jest często zamienny z określeniem „pomiarów radiometrycznych”, ponieważ chodzi o rejestrację nie tylko promieniowania widzialnego, lecz również podczerwonego, a nawet mikrofalowego.

Używane w tabeli 1, przy opisie metod satelitarnych, określenie „obrazy wielospektralne” stanowi, ze względów praktycznych, pewien skrót myślowy: dokładniej chodzi o normalne zdjęcia wykonywane klasycznymi kamerami fotograficznymi albo o skanerowe zobrazowania wielospektralne, w zależności od zastosowanej przez danego satelitę techniki [3, 7, 11].

W związku z tym najbardziej efektywnie stan środowiska – większości jego komponentów: atmosfery i propagacji zanieczyszczeń pyłowych, wód powierzchniowych, procesów urbanizacyjnych, powierzchni ziemi wraz z glebami i obszarami uprawnymi, ekosystemów leśnych, stepowych, a nawet bagiennych – można określać metodami teledetekcyjnymi, wykorzystując do tego celu najogólniej rozumiane zdjęcia lotnicze [4, 16] oraz wielospektralne zobrazowania satelitarne [3, 16]. W przypadku zdjęć lotniczych metody te rozwinęły się w już latach 20. XX wieku [5], chociaż bynajmniej nie w związku z ochroną czy monitoringiem środowiska. Natomiast w przypadku wielospektralnych zdjęć i zobrazowań satelitarnych rewelacyjne dane dla celów ochrony i kontroli stanu środowiska uzyskano dzięki takim platformom kosmicznym [20], jak np. LANDSAT, SPOT, KOSMOS, PRIRODA. Kraje posiadające własne systemy satelitarne mogą bez ograniczeń prowadzić teledetekcję kosmiczną dla celów najogólniej pojętego monitoringu środowiska. W Polsce, z różnych względów, powinno się wypracować optymalne podejście do wykorzystania technik satelitarnych dla celów oceny stanu oraz kontroli środowiska – jak również techniki GPS [10] oraz metodyki GIS (do tworzenia map sozologicznych) [16].

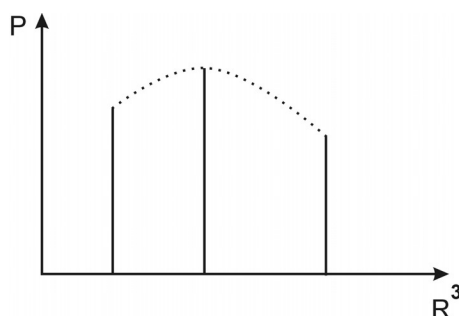
Teledetekcja z pułapu lotniczego i kosmicznego znalazła również swoje należne miejsce w rolnictwie i gleboznawstwie ze względu na rosnący popyt na żywność, a w związku z tym konieczność racjonalnego wykorzystania gleb. Podczas interpretacji zdjęć lotniczych i zobrazowań satelitarnych należy brać pod uwagę morfologię danego obszaru, orografię, rodzaj gleb i warunków klimatycznych, bowiem charakterystyka widmowa upraw rolniczych zmienia się ze względu na takie czynniki, jak ich barwa, gęstość pokrycia, wilgotność, stan zdrowotny roślin, sposób nawożenia gleb, a także sposoby wypasu i uprawy gleby. Dzięki aerofotografii [4] i zobrazowaniom satelitarnym [3] określono również zdewastowane i zdegradowane obszary leśne oraz uzyskano odwzorowanie faktycznej wielkości powierzchni

leśnej w Polsce. Co więcej, na zobrażowaniach satelitarnych można dokładnie rozróżnić drzewostany: iglasty, liściasty i mieszany. Zależy to od przedziału widmowego, w którym zostało wykonane zobrażowanie, jak również od fototonu oraz struktury powierzchni, a także od fazy wegetacji drzewostanów.

W przypadku metody spektrometru korelacyjnego zasada jego działania jest, najogólniej ujmując, analogiczna do wspomnianej we wstępie metody analizy widmowej zastosowanej w warunkach ziemskich. Należy też stwierdzić, iż jedyną, najbardziej precyzyjną metodą teledetekcyjną są obserwacje lidarowe. Łączą one własności pomiarów bezpośrednich z pomiarami zdalnymi, a ich dokładność jest ogromna [12].

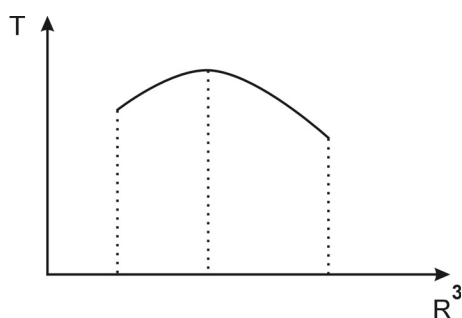
Jednak pomimo wcześniejszego entuzjazmu dla metod teledetekcyjnych – zwłaszcza jeśli chodziło o tereny niedostępne dla monitoringu bezpośredniego (na przykład rozległe bagna, obszerne akweny, obszary pustynne, ogromne lodowce, urozmaicone rejony górskie, tereny trudno dostępne ze względów politycznych) – wystąpiły jednak pewne problemy w dziedzinie interpretacji danych teledetekcyjnych [6]. Oprócz wymienionych powyżej zalet, dzięki którym można było nareszcie określać stan środowiska niedostępnych terytoriów – chociaż nie zawsze z pozytywnym skutkiem – ujawniły się poważne trudności.

Jak powyżej wspomniano, podczas obserwacji bezpośrednich możemy otrzymać wartość mierzonego, dowolnego parametru środowiska z zadaną dokładnością. Jest to wysoce pozytywna cecha tej metody. Niestety, nie znamy jednak dokładnie rozkładu przestrzennego tego parametru i musimy polegać na pewnej interpolacji danego elementu, że nie wspomnimy już o jeszcze bardziej wątpliwej jego ekstrapolacji. Łatwo wtedy o pomyłkę i wyciągnięcie daleko idących fałszywych wniosków. Sytuację tę ilustruje rysunek 1. Parametr P jest dokładnie pomierzony, ale jego rozciągłość przestrzenna R^3 nie jest w pełni określona i trzeba często uciekać się do interpolacji wyników.



Rys. 1. Pomiar *in situ* parametru P w przestrzeni R^3 [19]. Znane są, z zadaną dokładnością, wartości absolutne parametru w punktach sieci monitoringu; nieznana jest rozciągłość przestrzenna tego parametru, co wymaga interpolacji, a niekiedy nawet ekstrapolacji

Odmienna sytuacja występuje w trakcie monitoringu teledetekcyjnego (rys. 2). Otrzymujemy dzięki niemu rozciągłość przestrzenną elementu T , jednak z reguły nie znamy jego wartości absolutnej! Dlatego też po okresie entuzjazmu co do metod teledetekcyjnych nastąpiło pewne rozczarowanie; zarazem podjęto liczne próby wyjścia z tego impasu. Początkowo starano się dokonywać operacji inwersji jednego parametru w drugi (tj. $T \rightarrow P$). W wielu przypadkach taki sposób był tyleż trudny, co niepewny [19] – jak na przykład zamienić radiancję górnych warstw atmosfery na rzeczywistą temperaturę stratosfery bez popełnienia znacznego błędu?



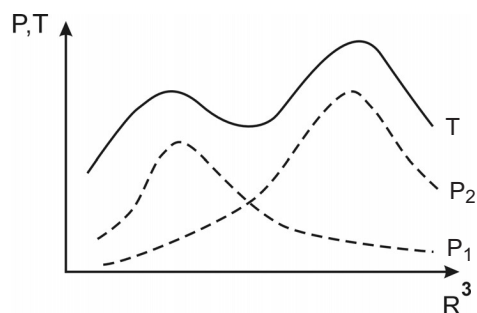
Rys. 2. Pomiar teledetekcyjny elementu T w przestrzeni R^3 [19]. Znana jest jego rozciągłość przestrzenna; nieznanne są, z reguły, jego wartości absolutne

Inna metoda to próba korelacji zbioru elementów teledetekcyjnych T ze zbiorem odpowiednich parametrów P . Wymaga to jednak po pierwsze tzw. interpretacji nadzorowanej, czyli przeprowadzenia obserwacji bezpośrednichżądanego parametru dokładnie w miejscu i czasie przelotu nad badanym terytorium satelity środowiskowego. Nie zawsze jest to możliwe, chociażby ze względów atmosferycznych (pogodowych) albo organizacyjnych. Po drugie – uzyskane wyniki nie zawsze będą pewne, jeśli nie zostaną spełnione warunki ergodyczności, czyli nie możemy być przekonani, na ile określona korelacja jest wiarygodna.

Wreszcie istnieje trzecia, najpoważniejsza chyba niedogodność, zilustrowana na rysunku 3. Zauważmy, że bezpośrednio możemy mierzyć dwa różne parametry środowiskowe: P_1 i P_2 (linie przerywane), podczas gdy z obserwacji teledetekcyjnych (linia ciągła) otrzymujemy jeden element (wykres) T , który w gruncie rzeczy jest splotem funkcji, co można zapisać symbolicznie

$$T = \iiint P_1 * P_2 dR^3$$

i rozwikłanie go jest czasami wręcz niemożliwe, tak aby uzyskać oddzielne wartości tych parametrów.



Rys. 3. Przebieg dwóch różnych parametrów środowiska P_1 i P_2 (linie przerywane) oraz odpowiadający im przebieg elementu teledetekcyjnego T (linia ciągła) [19]

W zaistniałej sytuacji Quiroz [14] i Rogers [15] zaproponowali, aby używać wprost danych teledetekcyjnych T , pomijając w ogóle procedury inwersji dla osiągnięcia wartości parametrów P . Jest to dogodna okoliczność dla monitoringu środowiska, jeśli chcemy szybko, w czasie realnym, poznać wyniki obserwacji lub pomiarów; oprócz znajomości rozkładu przestrzennego badanego komponentu możemy badać też jego zmienność w czasie oraz tworzyć prognozy.

Jeszcze innym podejściem jest organizowanie systemów komplementarnych dzięki kompilacji stałych systemów monitoringu bezpośredniego (mierzących wybrany parametr z dużą dokładnością, lecz z małą zdolnością rozdzielczą w przestrzeni i czasie) z systemem typu teledetekcyjnego (podającym względne zmiany wartości tegoż parametru, lecz odtwarzającym jego pole z dużą zdolnością rozdzielczą w przestrzeni i czasie) [20].

Dodajmy ponadto, że na konieczność zastosowania w monitoringu środowiska metod teledetekcyjnych zwrócono już dość dawno uwagę [23].

3. Istotne komponenty środowiska i morfostruktury

Spośród licznych i różnorodnych komponentów środowiska musimy wybrać te najbardziej istotne, mogące świadczyć o zasadniczych zmianach zachodzących w otaczającym nas świecie [18, 20, 21]. W przeciwnym bowiem razie nie potrafilibyśmy sprostać założonym zadaniom, tak przecież – jak wiadomo – złożona i skomplikowana jest przyroda. Pociąga to co prawda za sobą niebezpieczeństwo, iż możemy niechcący nie uwzględnić jakiegoś ważnego parametru. Wypada jednak mieć nadzieję, że w trakcie procesu monitoringu – czy to bezpośredniego, czy teledetekcyjnego – ujawni się rzeczywisty charakter zaniedbywanego wcześniej komponentu, który następnie zostanie uwzględniony.

Ogólnie rzecz biorąc, za istotne, zasadnicze komponenty środowiska podlegające monitorowaniu (również teledetekcyjnemu) będziemy uznawali takie grupy

charakterystyk, które określają stan środowiska, tj. atmosferę, hydrosferę i powierzchnię lądową ważną ze względów ekologicznych [20].

Zwraca tu uwagę wymienienie na pierwszym miejscu elementów atmosferycznych, na drugim – hydrosferycznych, wreszcie na następnym – obszarów lądowych, co wiąże się również bezpośrednio z problemami żywienia. Taka klasyfikacja ma oczywiście swoje głębokie uzasadnienie.

Jak wiadomo, bez powietrza człowiek może wytrzymać zaledwie kilka minut – w dodatku musi on oddychać taką atmosferą, jaka go otacza. Stąd właśnie bezwzględna konieczność monitoringu i oceny stanu jakości środowiska atmosferycznego, co już dawno było rozważane przez rozmaite instytucje naukowe, powołane dla celów ochrony powietrza.

Drugim istotnym powodem, dla którego przydajemy tak ogromne znaczenie monitorowaniu atmosfery, jest jej właściwość jako medium otaczającego całą kulę ziemską. Na skutek bezustannego niemal ruchu mas powietrza emitowane do atmosfery zanieczyszczenia (gazowe i pyłowe) są przenoszone na ogromne niekiedy odległości i w najrozmaitszych kierunkach.

Świadczą o tym zarówno pomiary bezpośrednie, jak i metody teledetekcyjne. Na przykład w odległych o tysiące kilometrów lodowcach Himalajów znaleziono pyły metaliczne pochodzące z Europy. Natomiast na licznych obrazowaniach satelitarnych widoczne są gigantycznej niekiedy długości (do około 200 km) smugi dymów lub ogromne tzw. stożki propagacji z emitorów grupowych [7]. Co więcej, na obrazowaniach wielospektralnych obserwujemy w zasadzie tylko składową pyłową zanieczyszczeń. Znając jednak mechanizm dyfuzji oraz turbulencji [17] możemy się spodziewać, iż składowa gazowa zanieczyszczeń przemysłowych (niekiedy toksyczna) będzie się rozprzestrzeniała na jeszcze większe odległości od emitorów.

Ponadto okazało się, że doliny rzek, obfite w roślinność oraz najgęściej zaludnione, stanowią naturalne korytarze transportu zanieczyszczeń przemysłowych poważnie zagrażających środowisku oraz człowiekowi, co potwierdziły zwłaszcza metody teledetekcji kosmicznej, czyli zdjęcia i wielospektralne obrazowania satelitarne [7].

Oprócz tego w dość specyficznych warunkach orograficznych oraz temperaturowych (zjawisko inwersji) może dochodzić do kumulacji zanieczyszczeń pod tzw. warstwą hamowania.

Wymienione powody są chyba najzupełniej wystarczające, aby problemowi monitoringu środowiska atmosferycznego przyznać priorytet. Co więcej, monitoring teledetekcyjny okazał się niezmiernie użyteczny dla służby meteorologicznej [21].

Nieco odmiennie przedstawia się kwestia zaopatrzenia w wodę pitną. Bez wody człowiek może wytrwać około tygodnia (rekord to 9 dni). W dodatku można odmówić picia zanieczyszczonej wody, można też ją odfiltrować nawet dość prostymi metodami. Ponadto ciekły wodny nie płyną całkowicie dowolnie, ale zgodnie z zasadą wariacyjną. Dlatego procesy monitorowania hydrosfery zostały wymienione dopiero na drugim miejscu.

Na ostatnim miejscu wymieniono stan środowiska i monitoring obszarów lądowych (powierzchni ziemi – w tym lasów, gleb i upraw), wraz z uwzględnieniem istotnego dla nas problemu żywności. Można się bez niej obejść, co prawda nie bez szkody dla organizmu, nawet ponad 40 dni.

Przedstawiona powyżej hierarchia charakterystyk stanu środowiska odzwierciedla poniekąd konieczność prowadzenia monitoringu: atmosfery, hydrosfery, litosfery wraz z biosferą, w takiej właśnie kolejności.

Jednak dla celów prowadzenia teledetekcyjnego monitoringu środowiska bardziej odpowiednia może się okazać odmienna klasyfikacja jego komponentów zaproponowana jeszcze przez Vinogradova [18], głównie na podstawie interpretacji zobrażeń i zdjęć satelitarnych. Są to tzw. morfostruktury antropogenicznych i przyrodniczych ekosystemów, które *in extenso* przytaczamy w tabeli 2.

Tabela 2. Morfostruktury

I Półprzyrodnicze	IV Paragenetyczne
A – pastwiskowe,	R – zanieczyszczeń powietrza,
B – wyrębiskowe,	S – zanieczyszczeń wód,
C – wypaliskowe,	T – parahydrologiczne,
D – łąkowe,	U – parageochemiczne
E – rekreacyjne	
II Przekształcone	V Wtórnie antropogeniczne
F – upraw polowych,	V – wtórnie geomorfologiczne,
G – planatacyjne,	W – wtórnie hydrologiczne,
H – fitomelioracyjne,	X – wtórnie geochemiczne,
J – hydromelioracyjne	Y – wtórnie biotyczne
III Właściwie antropogeniczne	VI Przyrody chronionej
K – urbanizacyjne,	Z – parki narodowe oraz rezerwy przyrody
L – przemysłowe,	
M – odkrywkowe,	
N – budownictwa wodnego,	
P – sieci komunikacyjnych	

Pojęcie morfostruktur okazało się zatem szczególnie użyteczne właśnie dla monitoringu teledetekcyjnego, prowadzonego zwłaszcza metodami zdjęć lotniczych, zobrażeń satelitarnych i pomiarów radiometrycznych, w tym radarowych, jak SLAR czy SAR [16], wymienionych w tabeli 1.

4. Podsumowanie

W dokumentowaniu stanu środowiska ważne znaczenie odgrywają atrybuty odnoszące się do wybranych, wymienionych powyżej cech środowiska (morfostruktur). Atrybuty te wymagają zdefiniowania oraz uszeregowania z uwzględnieniem hierarchii obowiązującej w ochronie powietrza, wód, gleb itd. Te parametry jakościowe powinny być uzupełnione informacjami ilościowymi i geometrycznymi odnoszącymi się do określonej przestrzeni obserwacyjnej. Jest to tzw. system analizy pola [20]. Tym samym każda z metod obserwacji stosowana w teledetekcji, fotogrametrii, fotointerpretacji i geodezji – zwłaszcza GPS – będzie w praktyce podlegała szczegółowym rozważaniom uwzględniającym możliwości rejestracji jakościowej, ilościowej i geometrycznej stanu środowiska przyrodniczego oraz antropogenicznego. Szczególna uwaga powinna zatem zostać zwrócona na zagadnienie integracji różnego rodzaju danych teledetekcyjnych w systemach informacji przestrzennej (GIS) w celu zwiększenia możliwości wykorzystania i analizy gromadzonych danych oraz zwiększenia wydajności w zarządzaniu oraz planowaniu w ochronie i inżynierii środowiska.

Literatura

- [1] Camp, de Sprague L.: *Wielcy i mali twórcy cywilizacji*. Warszawa, Wiedza Powszechna 1970
- [2] Childe V.G.: *O rozwoju w historii*. Warszawa, PWN 1963
- [3] Ciołkosz A., Kęsik A.: *Teledetekcja satelitarna*. Warszawa, PWN 1989
- [4] Ciołkosz A., Miszalski J., Olędzki J.R.: *Interpretacja zdjęć lotniczych*. Warszawa, PWN 1978
- [5] Deuel L.: *Lot w przeszłość*. Warszawa, Wyd. Artystyczne i Filmowe 1984
- [6] Dworak T.Z.: *Some Remarks on Determination of Aerosol Content in the Lower Atmosphere Using Satellite Images*. Post. Astronautyki, 16, nr 1, 1983
- [7] Dworak T.Z.: *Metodyka teledetekcyjnych badań zapylenia atmosfery*. ZN AGH nr 1339, Sozologia i Sozotechnika, z. 29, 1990
- [8] Dworak T.Z.: *Zastosowanie metod teledetekcyjnych w ochronie powietrza*. Mat. IV Konf. „Problemy ochrony powietrza w aglomeracjach miejsko-przemysłowych”, Ustroń, wrzesień 2001, Gliwice, Wyd. PŚl. 2001

- [9] Dworak T.Z.: *Porównanie atmosfer ciał typu ziemskiego w Układzie Słonecznym dla celów inżynierii środowiska planetarnego*. Półrocznik AGH Inżynieria Środowiska, t. 7, z. 2, 2002
- [10] Góral W., Szewczyk J.: *Zastosowanie techniki GPS w precyzyjnych pomiarach deformacji*. Kraków, UWND AGH 2004
- [11] Linsenbarth A.: *Satelitarne systemy teledetekcyjne*. Warszawa, Wyd. PWN 1987
- [12] Measures R.M.: *Laser Remote Sensing*. New York, John Wiley & Sons 1984
- [13] *Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2003–2005*. Warszawa, GIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska 2003
- [14] Quiroz R.S.: *The Stratospheric Evolution of Sudden Warming in 1969–1974 Determined from Measured Infrared Radiation*. J. Atm. Sci., 33, No. 1, 1975
- [15] Rogers C.D.: *The Limitation of Remote Sensing*. COSPAR Proc. of the Symp. on Met. Obs. From Space, 1, Philadelphia, 1976
- [16] Sitek Z.: *Wprowadzenie do teledetekcji lotniczej i satelitarnej*. Kraków, Wyd. AGH 1997
- [17] Sorbjan Z.: *Turbulencja i dyfuzja w dolnej atmosferze*. Warszawa, PWN 1983
- [18] Vinogradov B.V.: *Prieobrazovannaja Ziemia*. Moskwa, Izd. Mysl 1981
- [19] Walczewski J.: *Rola i znaczenie metod teledetekcyjnych w badaniach atmosfery*. Mat. Sesji Nauk. „Teledetekcja atmosferyczna”, Kraków 29 IX 1978 r., Warszawa, Wyd. IMGW 1979
- [20] Walczewski J.: *Metoda oceny, porównania i wyboru systemów monitorowania środowiska*. Mat. Bad., seria Meteorologia, Warszawa, Wyd. IMGW 1980
- [21] Walczewski J.: *Teledetekcja w służbie meteorologicznej*. Mat. Sesji Nauk. IMGW „Nauka dla służby hydrologiczno-meteorologicznej”, Warszawa 22.02.1999, Warszawa, Wyd. IMGW 1999
- [22] Walczewski J.: *Wskazówki do modernizacji monitoringu jakości powietrza pod kątem dostosowania systemu do wymagań przepisów Unii Europejskiej, ze szczególnym uwzględnieniem dużych miast*. [w:] Mitosek G. (red.), Warszawa, GIOŚ 2000
- [23] Walczewski J., Bielak A., Kaszowski W., Orkisz K., Suryjak W., Gawlik W.: *Opracowanie i zastosowanie udoskonalonych metod i urządzeń do zdalnego badania stanu zanieczyszczeń powietrza*. Kraków, Archiwum IMGW 1984