◆◆◆◆ ORYGINALNE PRACE I PRZYCZYNKI ◆◆◆◆

Elżbieta BAJKIEWICZ-GRABOWSKA, Zdzisław MIKULSKI

Instytut Nauk Fizycznogeograficznych UW

OBIEG WODY I MATERII STAŁEJ W ALUWIALNEJ DOLINIE RZECZNEJ

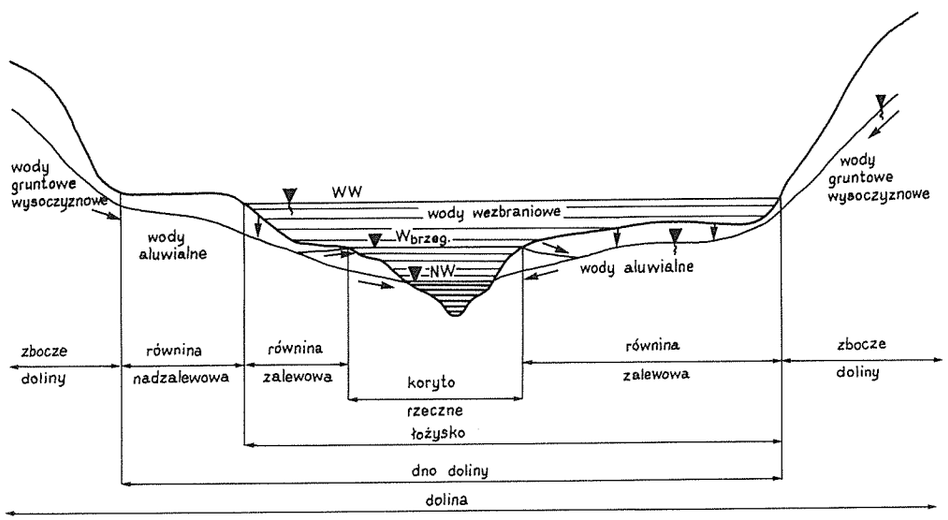
WATER AND SOLID MATTER CIRCULATION IN THE ALLUVIAL RIVER VALLEY

Budowa doliny aluwialnej

Dolina rzeczna jest jednostką geomorfologiczną powstałą w wyniku erozyjno-akumulacyjnej działalności wód płynących; jej rozwój jest uzależniony od ukształtowania terenu, budowy geologicznej podłoża oraz klimatu. Dolinę tworzą dno i zbocza, których układ określa typ doliny. Dno doliny jest formowane przede wszystkim przez procesy fluwialne, zbocza doliny natomiast są kształtowane przez procesy stokowe.

Z biegiem doliny zmienia się zarówno kształt jej dna, jak i zboczy. Obok dolin powstałych wyłącznie wskutek erozyjnej działalności rzek występują także doliny utworzone przy współudziale procesów stokowych. Pierwsze z nich mają wąskie dna, równe szerokości koryta rzecznego, i strome zbocza. Drugie mają szerokie, płaskie dna i zbocza o różnym nachyleniu; w obrębie płaskiego dna mieści się koryto rzeki i równina nadbudowana stożkami u wylotów dolin bocznych, która może być częściowo zalewana przez wody rzeczne podczas ich wysokich stanów. Równinę tworzą tarasy rzeczne. Mogą to być tarasy skaliste, wycięte w podłożu skalnym, lub tarasy osadowe, utworzone w pokrywie akumulacyjnej wypełniającej dolinę. W dnie doliny rzecznej można zatem wyróżnić:

— **równinę zalewową**, czyli **łożysko** rzeki; jest to ta część dna doliny, która obejmuje koryto rzeki i tarasy zalewowe (rys. 1). Koryto rzeki stanowi najniższą część dna doliny i łożyska, zajętą stale przez wody rzeki, natomiast tarasy zalewowe obejmują ten fragment dna doliny, który jest zalewany przez wody rzeczne jedynie



Rys. 1. Przekrój doliny aluwialnej

Fig. 1. Cross-section of alluvial valley

podczas wysokich stanów. Powstaje ona w wyniku działalności erozyjnej i akumulacyjnej rzeki; tworzy się przy przemieszczaniu się koryta po dnie doliny. Głównymi czynnikami, które decydują o rozwoju równiny zalewowej, są cechy ustroju hydrologicznego rzeki, transport osadów oraz czynniki ograniczające (np. budowa geologiczna doliny);

— **równiny nadzalewowe (tarasy nadzalewowe)**, fragmenty dawnych łożysk rzeki.

Łożysko rzeki może być:

— jednostronne — gdy koryto rzeki biegnie tuż przy zboczu doliny i towarzyszy mu tylko z jednej strony taras zalewowy,

— dwustronne — z tarasami zalewowymi po obu stronach koryta,

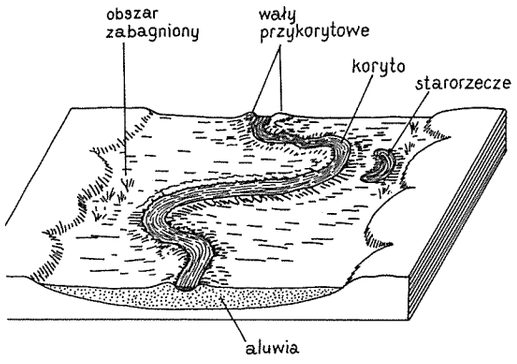
— przemienne — gdy taras zalewowy jest położony to po jednej, to po drugiej stronie koryta rzeki.

W przekroju poprzecznym łożyska rzeki (równiny zalewowej) można wyróżnić: 1) przykorytową część łożyska (tzw. wały przykorytowe) — nieco podwyższoną, zbudowaną z namułów, pni, gałęzi, 2) część środkową — nieco niższą o powierzchni wyrównanej, i 3) część podzboczową (podkrawędziową) — o rzędnej najniższej, zabagnioną (rys. 2).

Koryto rzeki jest zazwyczaj wyraźnie wcięte w aluwialne podłoże, a jego przebieg w planie wyznaczają brzegi, których pełnej wysokości nie osiąga nawet średni poziom wody w korycie, ale jedynie tzw. woda brzegowa. Rozróżnia się przeto (rys. 1):

— koryto wody brzegowej, tj. właściwe koryto rzeki zawarte między brzegami,

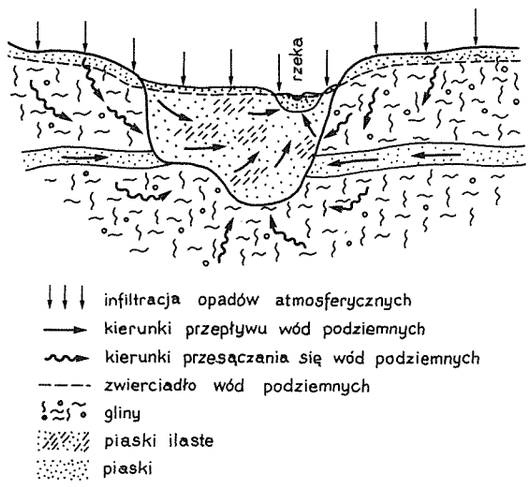
— koryto wielkiej wody, czyli łożysko rzeki (jest to równina, dolina zalewowa).



Rys. 2. Równina zalewowa i jej części charakterystyczne

Fig. 2. Flood plain and its characteristic parts

W Polsce dna dużych dolin rzecznych są zajęte przez stopnie tarasowe, z których najniższe (równina zalewowa i nadzalewowa) zostały ukształtowane w ostatnich 10-13 tysiącach lat, w okresie schyłku glacjału i holocenu (Starkel, 1988). Cechuje je wielopiętrowość w budowie aluwiów. W najprostszym przypadku obserwuje się w nich 2 podstawowe cykle sedymentacji (rys. 3): występujący w spągu cykl fluwioglacjalny i nadbudowujące go osady fluwialne (Falkowski, 1971; Górski, 1981; Macioszczyk, 1988). Utwory fluwioglacjalne to gruboziarniste piaski i żwiry o znacznej miąższości, pozbawione w zasadzie substancji organicznej. Nadbudowujące je osady aluwialne są zwykle mniej miąższe, bardziej drobnoziarniste, często



Rys. 3. Schemat zasilania doliny rzecznej na Niżu Polskim (wg Macioszczyk, 1998)

Fig. 3. Scheme of recharge of alluvial valley in the region of Lowlands in Poland (after Macioszczyk, 1988)

w partiach stropowych są reprezentowane przez utwory mułkowate lub madowe, a nawet torfowe i ilaste. Głównymi składnikami aluwiów rzecznych są więc piaski, najczęściej kwarcowe, oraz iły, żwiry, mułki, mady i torfy. Pośród osadów rzecznych jest wydzielana:

— facja korytowa, gruboziarnista, słabo wysortowana, z odmianą piaszczystych łach korytowych o dobrym wysortowaniu,

— facja wypełnień starorzeczy (osady rzeczne, jeziorne, bagienno-torfowiskowe),

— facja równiny zalewowej, obejmująca piaszczyste utwory wałów przykorytowych i osady mułkowo-bagienne obniżeń.

Dna dużych dolin aluwialnych stanowią odrębne geosystemy, które na obszarze Polski wysuwają się na pozycję czołową wśród typów środowiska naturalnego. Geosystemy te charakteryzują się m.in.:

— złożonym systemem zasilania, zróżnicowanym czasowo i przestrzennie,

— istnieniem więzi hydraulicznych między wodami rzecznymi i wodami aluwialnymi, więzi zmiennych w czasie i zróżnicowanych przestrzennie,

— stosunkowo szybką wymianą wód w obrębie całego geosystemu,

— zmiennym układem warunków hydrogeochemicznych,

— bardzo dużym zagrożeniem jakości wód aluwialnych ze względu na łatwość przenikania do nich zanieczyszczeń.

Obieg wody w dolinie aluwialnej

Obieg wody w dolinie rzeki aluwialnej jest bardzo skomplikowany. Zależy on z jednej strony od stałych cech środowiska przyrodniczego tego geokompleksu, a więc przede wszystkim od czynników geologicznych (geneza skał, litostratygrafia, tektonika i sposób ułożenia warstw) i warunków hydrogeologicznych (zróżnicowanie przewodzenia wody przez skały, zależne od ich rodzaju), a także od zmiennych cech, jakimi są warunki meteorologiczne (opad, parowanie), wpływające na zmienność hydrologiczną (stany wody w rzece, stany zwierciadła wód podziemnych).

W obiegu wody w dolinie rzecznej uczestniczą wody opadowe, wody rzeczne i wody podziemne, a wśród nich wody aluwialne, płynące w aluwiach dolinnych, i wody podziemne, dopływające z obszarów sąsiadujących z doliną. Główną rolę w tym obiegu odgrywają wody rzeczne, ustrój hydrologiczny rzeki odciska bowiem decydujące piętno na cechach środowiska dna doliny, zwłaszcza jej części zalewowej. Wody rzeczne pozostają w stałym kontakcie hydraulicznym z wodami podziemnymi, występującymi w aluwiach rzecznych. Wody aluwialne poruszają się równolegle do koryta rzecznego niezależnym strumieniem wodnym, zgodnie ze spadkiem dna doliny. Prędkość przepływu wód podziemnych jest znacznie mniejsza i osiągane wartości na ogół nie przekraczają rzędu 10^{-3} m/s. Jak podaje Maciszczyk (1988), ilościowo relacje wód przepływających w aluwiach oraz w korycie rzecznym są bardzo zróżnicowane i mogą zmieniać się znacznie, nawet w przypadku jednej rzeki.

Przy średnich i niskich stanach wody w korycie rzecznym wody aluwialne zasilają wody rzeczne, przy stanach wysokich zachodzi sytuacja odwrotna — wody

rzeczne zasilają wody aluwialne (rys. 1). W wyniku ścisłego związku wód rzecznych z wodami podziemnymi aluwiów zmianie ulega przepływ rzeczny i położenie zwierciadła wody w rzece, co z kolei powoduje zmiany poziomu i ilości wód gruntowych w dolinie (Nikanorow, 1989).

Doliny aluwialne należą z reguły do typu dolin drenujących, tj. takich, które są bezpośrednio zasilane wodami ze zlewni podziemnych (rys. 3). Są to więc doliny, w których istnieje pełna więź hydrauliczna między wodami w utworach aluwialnych i zasadniczą warstwą wodonośną zlewni podziemnej (Poźniak, 1988).

Geosystem dna doliny rzecznej może być zasilany bezpośrednio lub pośrednio przez:

— infiltrację opadów atmosferycznych,

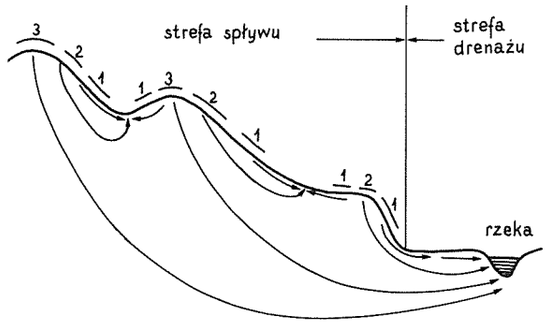
— infiltrację wód powierzchniowych z koryta rzecznego, rowów melioracyjnych, starorzeczy itp.,

— dopływy lateralne (np. z wysoczyzn, dolinami mniejszych rzek),

— dopływy ascenzyjne.

Udział poszczególnych rodzajów zasilania jest zróżnicowany czasowo i przestrzennie. Zróżnicowanie czasowe jest wynikiem zmienności warunków meteorologicznych, głównie opadów i parowania, które wywołują zmienność warunków hydrologicznych, np. zmiany położenia zwierciadła wód aluwialnych, zwierciadła wody w rzece. Zróżnicowanie przestrzenne jest uwarunkowane zmiennością budowy geologicznej i warunków krążenia wód w aluwiach dolinnych.

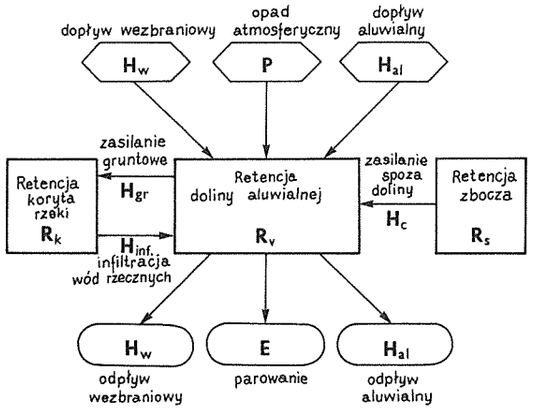
Uogólniając należy stwierdzić, że w aluwialnej drenującej dolinie rzecznej najwyższy udział zasilania infiltracyjnego występuje w przypowierzchniowych partiach utworów tarasowych. Na wyższych plejstoceńskich tarasach, w ich głębszych strefach, wzrasta udział zasilania lateralnego z wysoczyzn. Są to wody podziemne związane z krążeniem bliskiego zasięgu, pochodzące także z infiltracji opadów atmosferycznych, które spadły na wysoczyzny. Najgłębiej leżące partie



Rys. 4. Schemat krążenia wód podziemnych
1 — lokalny system krążenia, 2 — przejściowy system krążenia, 3 — regionalny system krążenia

Fig. 4. Main types of groundwater with different transit times
1 — local groundwater with short transit time, 2 — intermediate groundwater with intermediate transit time, 3 — regional groundwater with long transit time

aluwiów, zwłaszcza w środkowej części doliny, są zasilane przede wszystkim dopływami lateralnymi i ewentualnie ascenzyjnym (rys. 3). W tych częściach dolin może następować drenaż wód dalekiego krążenia (rys. 4). Na przykład, zdaniem Macioszczyk (1988) dolina Wisły drenuje w obrębie Niecki Mazowieckiej wody z utworów czwartorzędowych, trzeciorzędowych, a nawet z utworów kredowych.



Rys. 5. System hydrologiczny doliny aluwialnej

Fig. 5. Hydrological system of alluvial valley

System hydrologiczny doliny aluwialnej. Obieg wody w dolinie rzecznej można przedstawić schematycznie (rys. 5), traktując dolinę aluwialną jako zbiornik retencyjny (R_d). Występują tu 3 rodzaje zasilania:

— opad atmosferyczny na powierzchnię doliny (P);

— zasilanie „poprzeczne" — prostopadłe do doliny, na które składają się: 1) dopływ (powierzchniowy i podziemny) (H_c) ze zbocza (są to wody wysoczyznowe), 2) infiltracja z koryta rzecznego przy wysokich stanach wód w rzece (H_{inf});

— zasilanie „podłużne", równoległe do doliny i zgodne z jej nachyleniem, obejmujące: 1) dopływ wód aluwialnych (H_{al}) z wyżej leżącego odcinka doliny, 2) okresowy dopływ wód wezbraniowych (H_w) z wyżej leżącego odcinka doliny.

Część rozchodową stanowią:

— parowanie z obszaru doliny (E),

— odpływ wód gruntowych do koryta rzecznego (H_{gr}),

— odpływ „podłużny" z doliny zalewowej, będący sumą: 1) odpływu wód aluwialnych do niżej leżącego odcinka doliny (H'_{al}), 2) odpływu wód wezbraniowych do niżej leżącego odcinka doliny (H'_w).

Różnica między przychodem i rozchodem jest regulowana retencją doliny aluwialnej (ΔR_v).

Bilans wodny doliny aluwialnej można zatem przedstawić w postaci

$$(P+H_c+H_{inf}+H_{al}+H_w)-(E+H_{gr}+H'_{al}+H'_w)=\Delta R_v$$

lub

$$(P-E)+H_c+(H_{inf}-H_{gr})+(H_{al}-H'_{al})+(H_w+H'_w)=\Delta R_v$$

Obieg wody wiąże obustronnymi relacjami wszystkie elementy środowiska przyrodniczego doliny aluwialnej, tj. atmosferę, hydrosferę, litosferę, pedosferę i biosferę.

Środowisko hydrogeochemiczne dolin aluwialnych

Głównym elementem środowiska przyrodniczego dolin rzecznych są wody gruntowe. Ich warunki występowania, dynamika, skład i własności fizyczno-chemiczne są oczywiście silnie zależne od tego środowiska, z drugiej jednak strony wody gruntowe bezpośrednio współtworzą specyfikę środowiska przyrodniczego dolin rzecznych (np. są niezbędnym czynnikiem rozwoju i intensyfikacji procesów glebowych, współtworzą mikroklimat doliny, decydują o typach biocenoz).

Środowisko hydrogeochemiczne dolin aluwialnych określa wiele czynników; główne znaczenie w kształtowaniu chemizmu wód gruntowych mają warunki: geologiczne, glebowe, hydrogeologiczne, biocenotyczne, klimatyczne, hydrograficzne oraz sytuacja morfologiczna.

Środowisko hydrogeochemiczne dolin rzecznych ma także bezpośredni kontakt z procesami i zjawiskami powierzchniowymi, przez co skład chemiczny wód aluwialnych może być w znacznym stopniu kształtowany przez działalność gospodarczą człowieka.

Skład i właściwości fizyczno-chemiczne wód gruntowych zależą od takich procesów, jak (Macioszczyk, 1988; Pich, 1980):

— rozpuszczanie i wydzielanie gazów,
— wymiana jonowa,
— utlenianie i redukcja,
— mineralizacja substancji organicznej,
— biochemiczny rozkład substancji organicznej,
— rozwój roślin,
— parowanie i zamarzanie,
— mieszanie się wód.

Wpływ poszczególnych procesów na chemizm wód gruntowych jest różny i zmienny zarówno w czasie, jak i w przestrzeni, a ingerencja człowieka w środowisko hydrogeochemiczne (m.in. zmiana warunków hydrogeologicznych np. przez pobór wody, zmiany obiegu wody w wyniku zabiegów melioracyjnych) może spowodować nasilenie któregoś z procesów.

Wody podziemne w dolinach aluwialnych występują najczęściej w utworach rzecznych, reprezentowanych przez dobrze przemyte i równo uziarnione piaski średnio i gruboziarniste oraz żwiry; w obrębie wyższych tarasów materiał piaszczysty

jest nieco słabiej przesortowany. W składzie petrograficznym tych utworów dominują skały krystaliczne i wapienne (Skompski, 1969). Drugą cechą charakterystyczną środowiska występowania wód podziemnych w dolinach aluwialnych są mady. Do specyfiki tych dolin należy zaliczyć także powszechne występowanie na tarasach wydm i przewianych utworów wodnych lub wodnolodowcowych, poprzedzielanych zatorfionymi zagłębieniami (Pich, 1980).

Z hydrochemicznego punktu widzenia istotnym rysem budowy geologicznej dolin rzecznych jest to, iż utwory piaszczyste w obrębie tarasów akumulacyjnych tworzą na ogół jeden kompleks wodonośny. Jeżeli występują nieprzepuszczalne warstwy typu mułowcowego, to mają one znaczenie lokalne.

W dolinach rzek aluwialnych, ze względu na sposób budowy geologicznej, stosunki hydrogeologiczne i cechy morfologiczne, najczęściej występują gleby piaszczyste, gleby brunatne, mady, gleby bagienno-murszowe i murszowe. Pokrywa glebowa w dolinach aluwialnych poprzez ścisłe kontaktowanie się z wodami gruntowymi wpływa na kształtowanie się ich składu chemicznego. Główną rolę w tym przypadku odgrywa wsiąkająca woda opadowa, która reguluje położenie zwierciadła wód gruntowych i wyznacza strefę zmian jego położenia; drugorzędne znaczenie ma okresowe podtapianie wód podziemnych przez infiltrujące z koryta wody rzeczne.

W profilu pionowym gleb wyróżnia się 3 warstwy:

— górną, obfitującą w rozpuszczalne i rozłożone składniki mineralne oraz substancję humusową, zachodzi w niej intensywne wietrzenie, jest wzbogacana w sole mineralne i organiczne;

— środkową, która różni się od górnej tym, że jest w niej więcej grubszych ziarn mineralnych, bowiem wietrzenie jest już mniej intensywne, jest ona wzbogacana produktami z warstwy górnej, materiał organiczny jest tu utleniany, strącaniu ulega żelazo i mangan;

— dolną, stanowiącą podłoże skały macierzystej; proces wietrzenia minerałów bardzo słaby, istnieje równowaga rozpuszczalności soli.

W warstwach tych zachodzą stałe przemiany fizyczno-chemiczne, których „motorem" jest woda opadowa, infiltrująca przez warstwę górną i środkową, oraz woda podnosząca się kapilarnie z warstwy dolnej. Ten ruch wody wytwarza ponadto w glebie na określonych głębokościach poziom ługowania, który jest pozbawiony materii humusowej i wodorotlenku żelaza, oraz poziom osadzania, ze strąconymi związkami żelaza i glinu.

Infiltracja wody opadowej sprawia, że na terenach torfiastych i bagiennych wody gruntowe są wzbogacane znaczną ilością substancji organicznej i żelaza w postaci kompleksowych związków humusowych, natomiast stężenie jonów głównych jest niewielkie. Podobnie rzecz się ma z wodami infiltrującymi przez utwory piaszczyste, z tym że nie występuje w nich żelazo (Laherno, 1970; Perelman, 1971). W czasie infiltracji przez glebę wód opadowych część rozpuszczonego w nich tlenu jest zużywana na utlenienie substancji organicznej. Zjawisko to powoduje wzrost w wodzie zawartości dwutlenku węgla, który z kolei przyspiesza proces rozpuszczania.

Gleby dolin aluwialnych wpływają nie tylko na skład chemiczny infiltrującej przez nie wody opadowej, ale mogą również zmieniać wcześniej uformowany skład chemiczny wód gruntowych. Może to nastąpić przy dostatecznie długotrwałym ich kontakcie z wodą gruntową, na drodze wymiany z jonami adsorbowanymi przez glebę.

Bezpośredni wpływ na kształtowanie składu chemicznego wód aluwialnych mają głównie minerały ilaste i substancja organiczna. Minerały ilaste biorą czynny udział w procesach sorbcyjnych oraz ograniczają infiltrację wód opadowych. Substancja organiczna wykazuje również zdolności sorbcyjne, ma także zdolność tworzenia związków kompleksowych. Obecność jej w osadach prowadzi do obniżenia potencjału oksydacyjno-redukcyjnego i wzrostu zakwaszenia wód. Rozkład substancji organicznej wzbogaca wody podziemne w wiele elementów hydrochemicznych (np. związki siarki, azotu, żelaza i liczne mikroelementy).

Częste zmiany położenia zwierciadła wód aluwialnych oraz okresowe ich podpiętrzanie są przyczyną zmiennego kontaktu wód gruntowych ze strefą gleby i podglebia, co z kolei wywołuje dużą różnorodność nakładających się na siebie procesów, takich jak np. ługowanie czy wymiana jonowa. Z dotychczasowych badań wynika, że zmiany środowiska hydrogeochemicznego najsilniej zaznaczają się w górnej strefie warstwy wodonośnej w zasięgu wahań zwierciadła wody. Zmiany te dotyczą przede wszystkim czynników agresywności środowiska (CO_2 agresywny, kwasowość, pH) oraz związanych z nimi zawartości żelaza i manganu. Przyczyną tych zmian jest utlenianie siarczków żelaza (ich obecność w środowisku glebowym jest przede wszystkim związana z występowaniem związków organicznych) w strefie obniżonego zwierciadła wody. Powstający w tym procesie kwas siarkowy powoduje obniżenie pH środowiska oraz podwyższenie ogólnej mineralizacji.

Cechą charakterystyczną środowiska glebowego jest selektywna zdolność adsorbcji kationów, co pozwala na wypieranie jednych kationów przez inne. Kationy według zdolności do adsorbcji przez gleby układają się w następującej kolejności: Na^+, K^+, NH_4^+, Mg^{+2}, Ca^{+2}, H^+ (Alekin, 1956). Oznacza to, że dopiero przy dostatecznie dużym stężeniu sodu część jonów wapnia zostanie wyparta z zespołu adsorbcyjnego i zastąpiona jonami sodu. Te złożone procesy ługowania i wymiany jonowej dążą zawsze do wytworzenia stanu równowagi chemicznej zgodnie z reakcją

$$2Na^+ + Ca\,(\text{adsorbowane}) \Leftrightarrow Ca^{+2} + 2Na\,(\text{adsorbowane})$$

Jeżeli do środowiska gleb z odczynem obojętnym lub alkalicznym wody opadowe będą doprowadzały wciąż nowe ładunki wapnia i magnezu, reakcja będzie przesuwać się na lewo, co sprzyja ługowaniu Na^+.

W omawianych procesach fizyczno-chemicznych rola potasu i — w mniejszym stopniu — amoniaku jest bardziej złożona niż rola sodu, wapnia i magnezu (Pich, 1980). Jony K^+ reagują jak jony Na^+, ale jednocześnie w szerszym zakresie mogą być trwale adsorbowane i przez to wyłączone z obiegu gleba-woda gruntowa i odwrotnie (Golterman, 1967). W przeciwieństwie do kationów niewiele wiadomo o zachowaniu się głównych anionów w procesach wymiany jonowej (Pich, 1980).

Chemizm wód gruntowych zależy w dużym stopniu od warunków zasilania i drenażu, szybkości ruchu wód, zakresu wahań i głębokości występowania wód, rodzaju warstw wodonośnych, stopnia kontaktowania się z wodami powierzchniowymi i podziemnymi z głębszych poziomów. Doliny rzeczne mają specyficzne warunki hydrogeologiczne, które przejawiają się tym, że:

— budowa geologiczna dolin i litologia utworów je wypełniających stwarzają bardzo korzystne warunki krążenia wód;

— są one strefą drenażową wód podziemnych, a zatem wymienialność wód gruntowych jest duża (jest to obszar pełnego drenowania wód podziemnych);

— uwidacznia się w nich wpływ ustroju hydrologicznego rzek na ustrój wód aluwialnych.

Skład chemiczny wód dolinnych

Wody podziemne dolin aluwialnych mają dość charakterystyczny skład chemiczny i właściwości fizyczne (Górski, 1981). Cechą wyróżniającą jest to, że jak na warunki strefy aktywnej wymiany wód, mają one stosunkowo wysoką utlenialność i twardość (tab. 1). Jakość wód aluwialnych jest także niezbyt korzystna ze względu

Tabela 1. Rozkład wartości utlenialności, siarczanów, twardości i suchej pozostałości w wodach aluwialnych pradolin (wg Błaszczyka i Górskiego, 1976)

Table 1. Distribution of oxidation, sulphates, hardness and dry deposit values in the alluvial groundwater (after Błaszczyk and Górski, 1976)

Utlenialność Oxidation (mg/l) n=89		Siarczany Sulphates (mg/l) n=70		Twardość Hardness (°n) n=102		Sucha pozostałość Dry deposit (mg/l) n=91	
zakresy range	%	zakresy range	%	zakresy range	%	zakresy range	%
0,0–3	34	0,0– 20	41	0,0– 4	0	0,0–200	13
3 –5	34	20 – 50	20	4 – 8	11	200 –400	75
5 –8	28	50 –100	36	8 –18	84	400 –500	11
8	4	100	3	18 –30	5	>500	1

n — liczba oznaczeń
n — number of tests

na zwiększoną zawartość związków żelaza i manganu. Pod względem zawartości żelaza wody te odpowiadają wodom nie ze środowiska utworów rzecznych, ale wodom ze środowiska utworów wodnolodowcowych pod glinami zwałowymi (Płochniewski, Pich, 1966), natomiast zawartość manganu w tych wodach odpowiada środowisku wód rzecznych (tab. 2).

W obrębie dolinnych utworów czwartorzędowych Polski Środkowej (Niecka Mazowiecka) występują wody zwykłe (słodkie) o dość zróżnicowanej mineralizacji

Tabela 2. Rozkład zawartości żelaza i manganu w wodach pradolin (wg Błaszczyka i Górskiego, 1976)

Table 2. Distribution of iron and manganium content in the alluvial groundwater (after Błaszczyk and Górski, 1976)

Pradolina Paleovalley	Zawartość Fe (mg/l) Fe content (mg/l)				Zawartość Mn (mg/l) Mn content (mg/l)			
	0,0–0,3	0,3–2,0	2,0–5,0	>5,0	0,0–0,1	0,1–2,0	2,0–5,0	>5,0
	procent zbadanych prób % number of testes				procent zbadanych prób % number of testes			
Barycko-Głogowska	0	33	50	17	3	94	3	0
Warszawsko-Berlińska	9	72	19	0	18	82	0	0
Toruńsko-Eberswaldzka	10	5	53	32	20	60	13	7

ogólnej (suma rozpuszczonych składników stałych); w Kotlinie Płockiej waha się ona w granicach od 98 do 1749 mg/l (Pich, 1980). Wody dolinne należą do typu wód wodorowęglanowych, siarczanowych i chlorkowych. Udział wodorowęglanów jest dominujący i rzadko stwierdza się wody z przewagą siarczanów, a zupełnie sporadycznie z przewagą chlorków (Pich, 1980; Bajkiewicz-Grabowska, 1988). W grupie wód wodorowęglanowych są to najczęściej wody wodorowęglanowo-siarczanowe i wodorowęglanowo-siarczanowo-chlorkowe; w grupie wód z przewagą siarczanów są to przeważnie wody siarczanowo-wodorowęglanowe i siarczanowo-chlorkowo-wodorowęglanowe. Stosunki procentowe kationów głównych w wodach dolinnych są znacznie prostsze. W wodach dolinnych jony wapnia mają zdecydowaną przewagę nad pozostałymi kationami. Stosunki kationów głównych tworzą najczęściej wody typu Ca^{+2}, Ca^{+2}–$Na^{+}(K^{+})$, spotyka się wody $Na^{+}(K^{+})$–Ca^{+2}. Udział jonów magnezu w składzie kationowym jest zwykle niewielki i jak wynika z badań Picha (1980), nie przekracza 20% mval.

Dość powszechnie w wodach dolinnych występują związki azotowe, tj. azotyny, azotany i amoniak.

Obieg wody a obieg materii stałej

Obieg materii stałej jest ściśle uzależniony od obiegu wody. W dolinie aluwialnej woda jest tym elementem w procesie migracji materii stałej, który odgrywa przede wszystkim rolę transportującą. Materia ta trafia na obszar doliny za pośrednictwem:

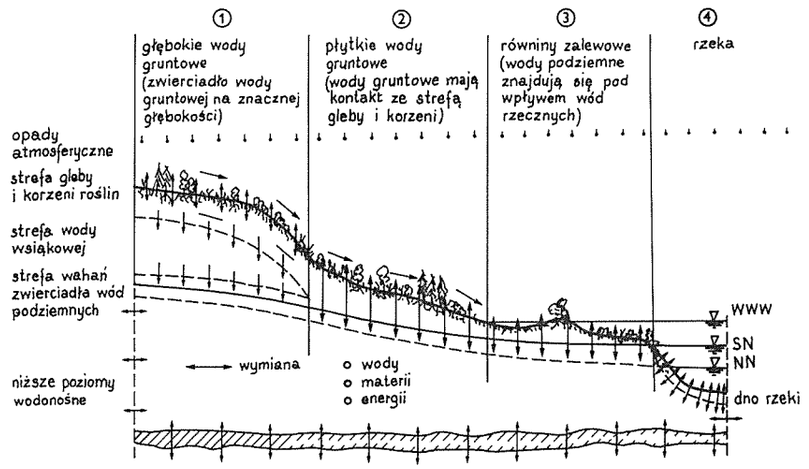
— opadów atmosferycznych, które nie tylko dostarczają z powietrza substancje stałe i gazowe, ale powodują także rozpuszczenie i włączenie do obiegu substancji zatrzymanych na powierzchni terenu przez glebę i szatę roślinną,

— wód rzecznych infiltrujących w aluwia lub je okresowo zalewających,

— wód podziemnych, spływających z wysoczyzny,

— wód aluwialnych, płynących z wyżej położonego odcinka doliny zgodnie z jej nachyleniem.

O obiegu materii stałej w dolinie aluwialnej decyduje pozioma wymiana wody, w której główną rolę odgrywają wody gruntowe. W systemie wód gruntowych



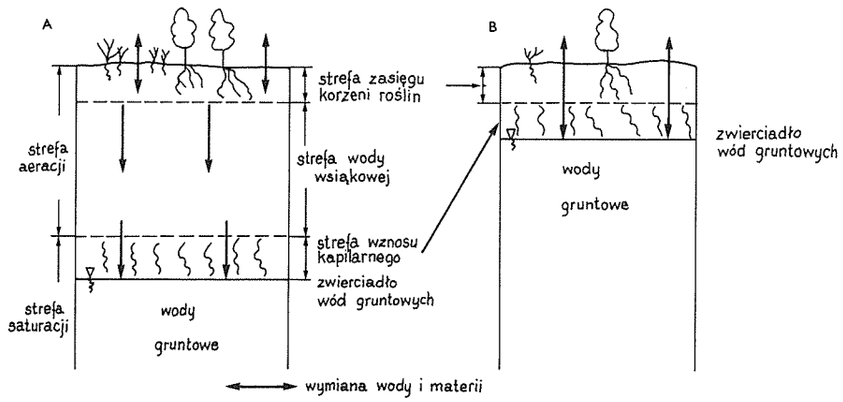
Rys. 6. Schemat drenażu i alimentacji wód podziemnych w dolinie (wg Herrmanna i in., 1991)

Fig. 6. Scheme of drainage and alimentation of groundwater in alluvial valley (after Herrmann a. al., 1991)

doliny aluwialnej można wydzielić 4 strefy (rys. 6). Strefa pierwsza to obszar, gdzie wody gruntowe występują na takiej głębokości, że ich zwierciadło jest poza zasięgiem parowania z gruntu i wody te nie mają kontaktu z wodami glebowymi; zwierciadło wód gruntowych i związaną z nim strefę wzniosu kapilarnego od strefy korzeniowej roślin oddziela wyraźna strefa wody wsiąkowej (rys. 7a). Przeważa tu pionowy transport materii stałej ku wodom podziemnym, który może zachodzić dzięki infiltracji wody opadowej. Trafiająca do gruntu materia stała jest częściowo wykorzystywana przez rośliny, część jej — w zależności od charakteru litologicznego podłoża — jest wiązana chemicznie, znaczna jednak część w postaci różnych soli bez przeszkód (jeśli nie ma warstw izolujących w strefie podpowierzchniowej) migruje głębiej do wód podziemnych. Strefa ta odpowiada powierzchniom autonomicznym, charakteryzującym się dopływem substancji w przewadze z atmosfery i stałym jej wynoszeniem (Perelman, 1971).

Strefa druga jest to obszar, na którym wody gruntowe występują tak płytko, że mają one bezpośredni kontakt ze strefą korzeniową roślin i tym samym z wodami glebowymi (rys. 6, 7b). Wody opadowe stosunkowo szybko infiltrują do wód gruntowych wzbogacając je w związki chemiczne „wymyte" z gleby. W okresie braku opadów natomiast ruch wody i materii stałej odbywa się ku górze dzięki podsiąkowi kapilarnemu i parowaniu z gleby. Przeważającym procesem w tej strefie jest jednak boczny dopływ substancji i okresowe słabe jej wymywanie.

Strefa trzecia obejmuje równiny zalewowe, a więc ten obszar, na którym wody podziemne i wody powierzchniowe pozostają w bezpośrednim związku hydraulicznym. W strefie tej położenie zwierciadła wód gruntowych kształtuje infiltracja wód rzecznych i boczny dopływ wód gruntowych. W takiej sytuacji dominującym



Rys. 7. Schemat pionowej wymiany wody i materii stałej w strefie 1 (a) i w strefie 2 (b) według oznaczeń rys. 6

Fig. 7. Scheme of vertical exchange of water and solid matter within zones: 1 (a) and 2 (b), according to Fig. 6

procesem w krążeniu materii stałej jest boczny dopływ substancji i bardzo słabe jej wynoszenie, dzięki czemu możliwe jest znaczne nagromadzenie związków i pierwiastków chemicznych, głównie tych, które odznaczają się dużą zdolnością migracji. Strefa ta pełni szczególną rolę w obiegu wody i materii stałej w dolinie aluwialnej. Równiny zalewowe położone w najniższym miejscu dna doliny pozostają w strefie bezpośredniego oddziaływania rzeki, choćby tylko epizodycznego. Powierzchnia równiny zalewowej jest miejscem akumulacji osadów rzecznych lub erozji. W naturalnych warunkach pomiędzy korytem rzeki a równiną zalewową następuje ciągła wymiana osadów; z jednej strony zachodzi erozja brzegów i powierzchni równiny, z drugiej strony — w czasie wezbrań są osadzane duże masy osadów (ilość osadów biorących udział w tym procesie jest zwykle większa od objętości osadów transportowych korytem rzeki). Budowa wałów przeciwpowodziowych przerywa proces zalewania równiny przez wody wezbraniowe, przez co zmienia się sposób obiegu materii w obrębie równiny.

Równina zalewowa jest zasilana stale wodą podziemną pochodzącą z wyższych poziomów (tarasów nadzalewowych i stoków doliny), a okresowo wodą opadową i wodą rzeczną. Związek z wyższymi poziomami jest zwykle bardzo silny ze względu na podobieństwo materiału budującego równinę oraz tarasy. Rzeka drenując całą dolinę powoduje przepływ wody gruntowej i powierzchniowej od zbocza doliny aż do głównego koryta. W ten sam sposób przebiega zasilanie równiny zalewowej materią. Dla transportowanej wodą materii stałej równina zalewowa może być obszarem tranzytowym lub buforowym. Tam, gdzie aluwia rzeczne stanowią piaski i żwiry, zachodzi transport materii stałej, nie stanowią one bowiem bariery dla migrujących w głąb soli. Natomiast aluwia o zmiennym uziarnieniu, z substancją organiczną i utworami ilastymi, ograniczają migrację wody i materii stałej; cięższe utwory pyłowe z jednej strony zmniejszają tempo infiltracji, z drugiej zaś mogą wiązać chemicznie lub wymieniać niektóre jony.

Równina zalewowa jest także obszarem predysponowanym do gromadzenia substancji; występuje tu wiele obniżeń terenu o słabym drenażu. Mimo iż stanowi obszar o stosunkowo szybkiej wymienia wód, jest bardzo podatna na wywoływanie zakłóceń krążenia wody i zmian warunków redoks (np. w wyniku eksploatacji wód aluwialnych czy zabiegów melioracyjnych).

Strefa czwarta to koryto rzeki; stan jego napełnienia decyduje o tym, czy wody gruntowe będą zasilały wody rzeczne w materię stałą, czy też wody rzeczne (na ogół bardziej zanieczyszczone niż wody gruntowe) będą zasilać poziomy wodonośne i tym samym zwiększać mineralizację wód aluwialnych.

Ilościowa ocena obiegu wody i materii stałej w dolinie aluwialnej wymaga szczegółowych badań hydrologicznych, geo- i hydrochemicznych. Badania te powinny być prowadzone w różnych skalach. Z jednej strony należy oceniać obieg wody i materii stałej w jednorodnych pod względem warunków krążenia wody jednostkach fizycznogeograficznych, np. hydrotopach, z drugiej zaś w całej jednostce morfologicznej, jaką jest dolina aluwialna, w obrębie której nie tylko układ hydrotopów decyduje o migracji materii lub jej akumulacji, ale także wzajemne powiązania wód powierzchniowych i podziemnych.

Zadaniem autorów było nakreślenie problemu podjętego przez Zakład Hydrologii Uniwersytetu Warszawskiego (Wydział Geografii i Studiów Regionalnych), wspólnie z analogicznym zakładem Uniwersytetu Johanna Wolfganga Goethego we Frankfurcie nad Menem (Fachbereich Geowissenschaften), w ramach 4. fazy Międzynarodowego Programu Hydrologicznego UNESCO[1] i wykonywanego przez stronę polską dzięki finansowaniu przez Komitet Badań Naukowych[2].

Maszynopis wpłynął do Redakcji 19 XI 1992 r.

Literatura

Alekin O. A., 1956, *Podstawy hydrochemii*. Warszawa, PWN.

Bajkiewicz-Grabowska E., 1988, *Kształtowanie się chemizmu wód gruntowych strefy podmiejskiej (na przykładzie gminy Łomianki)*. Prz. Geogr., t. 60, nr 1–2.

Błaszczyk T., Górski J., 1978, *Zmiany jakości wód podziemnych w warunkach intensywnej eksploatacji*. Warszawa, IKŚ.

Falkowski E., 1971, *Historia i prognoza układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski*. Biul. Geol., t. 12.

Golterman H. L., 1967, *Influence of the soil on the chemistry of water in relation to productivity*. FAO Fish, t. 3, nr 14.

[1] International Hydrological Programme. Hydrology and water resources for suistainable development in a changing environment — Detailed Plan for the fourth phase of the IHP (1990–1995) as approved by the IHP Council at its Ninth session (Paris, 19–24 March 1990); Project M–3–4: Flood plain pollution control management of the river Vistula (Poland) and Main (Germany).

[2] Decyzja Nr 748/6/91 z dnia 20.10.1991 r.; projekt badawczy pt. „Ekologiczne podstawy zagospodarowania doliny Wisły na przykładzie Kotliny Płockiej".

Górski J., 1981, *Kształtowanie się jakości wód podziemnych utworów czwartorzędowych w warunkach naturalnych oraz wymuszonych eksploatacją.* Warszawa, IKŚ.
Herrmann R., Hubert P., Kobus H., 1991, *Groundwater.* [W:] *Hydraulics and the environment.* J. of Hydr. Research, t. 29, Exstra issue.
Laherno P., 1971, *On the hydrogeology of the coastal region of south-eastern Finland.* Bulletin, nr 252, Otaniemi.
Macioszczyk A., 1988, *Chemizm wód podziemnych oraz główne czynniki kształtujące go.* Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., nr 347.
Nikanorow A. M., 1989, *Gidrochimia.* Leningrad, Gidromietizdat.
Perelman A., 1971, *Geochemia krajobrazu.* Warszawa, PWN.
Pich J., 1980, *Zmiany chemizmu wód gruntowych w otoczeniu sztucznych zbiorników wodnych w Dębem i Włocławku.* Prace Hydrogeologiczne — seria specjalna, nr 13, Warszawa, Wyd. Geol.
Płochniewski Z., Pich J., 1966, *Żelazo i mangan w wodach podziemnych różnych środowisk hydrogeochemicznych.* Kwart. Geol., t. 10, nr 3.
Poźniak R., 1988, *Zasilanie dolin rzecznych wodami podziemnymi.* Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln., nr 347.
Skompski S., 1969, *Stratygrafia osadów czwartorzędowych wschodniej części Kotliny Płockiej.* Biuletyn PIG, 220.
Starkel L., 1988, *Historia dolin rzecznych w holocenie.* [W:] *Przemiany środowiska geograficznego Polski.* Wszechnica PAN, Wrocław, Ossolineum.

Summary

The river valleys have specific and complicated hydrological features. They are formed by the erosion-sedimentation fluvial processes. The river valley consists of: 1) flood plain (part of the valley floor inundated during the flood and the river channel), 2) over flood plain (so called over flood taraces). The water is supplied to the valley by atmospheric precipitation, parallel to the river channel alluvial groundwater flow, bank filtration during the flood from the river channel and groundwater flow from the valley sides. The water outflows from the valley by evapotranspiration, down the river alluvial groundwater flow and contribution in the river base flow.

The hydrological cycle in the river valley determines the solid matter circulation. The solid matter is reaching the alluvium deposits trough the filtration of the precipitation and flood water and is transported by the groundwater fluxes. Alluvial valley due to its geological and hydrological properties is acting as a buffor zone improving the quality of the water.

PRZEGLĄD GEOFIZYCZNY

Rocznik XXXVIII 1993 Zeszyt 1

Remigiusz BROJEWSKI, Lechosław KUMOCH

Zakład Meteorologii WAT

KONCEPCJA SYSTEMU POMIAROWO-INFORMACYJNEGO PROGNOZOWANIA LOKALNYCH WARUNKÓW PROPAGACJI ZANIECZYSZCZEŃ

THE IDEA OF INFORMATIC-MEASURE SYSTEM OF FORECASTING LOCAL CONDITIONS FOR DIFFUSION OF POLLUTIONS

W ostatnich latach niezwykle silne akcenty w działalności gospodarczej i politycznej kładzie się na problemy związane z ochroną środowiska. W związku z tym, na różnych szczeblach kierowania terenową działalnością produkcyjną pojawia się konieczność stosowania różnych systemów, których celem byłoby minimalizowanie ewentualnych szkód w naturalnym stanie środowiska. Spełniają one rozmaite funkcje, począwszy od systemów bezpośrednio zmniejszających skażenie środowiska (filtry kominowe, oczyszczalnie ścieków itp.), a kończąc na systemach monitorujących i prognozujących stan zanieczyszczeń atmosfery, hydrosfery i gleby.

W niniejszym artykule omówiono jeden z możliwych wariantów tej ostatniej kategorii systemów, spełniający następujące funkcje:

— wykrywanie sytuacji przekroczenia dopuszczalnego stanu zanieczyszczenia atmosfery;

— stałe monitorowanie poziomu zanieczyszczeń powietrza w przyziemnej warstwie atmosfery;

— krótkoterminowe prognozowanie stanu zanieczyszczeń atmosfery;

— przygotowanie scenariuszy rozwoju sytuacji na wypadek awarii zbiorników z substancjami toksycznymi (scenariusze te są z reguły zależne od warunków meteorologicznych).

Model prognozy skażeń atmosfery a sieć pomiarowo-obserwacyjna

Metody modelowe w prognozie skażeń atmosfery zaczęły rozwijać się w latach pięćdziesiątych wraz z rozwojem maszyn cyfrowych. Początkowo były to metody proste — dostosowane do małych mocy obliczeniowych EMC, lecz wraz z nową generacją maszyn cyfrowych pojawiły się bardziej skomplikowane modele propagacji zanieczyszczeń w atmosferze. Prognoza stanu zanieczyszczeń związana jest nierozerwalnie z prognozą warunków meteorologicznych. Dynamiczny rozwój prognoz meteorologicznych, jaki nastąpił w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych spowodował zdecydowany skok jakościowy skuteczności prognoz stanu zanieczyszczeń atmosfery. Jednym z najwcześniej stosowanych modeli prognostycznych był model stacjonarny. Pozwalał on na obliczanie stanu zanieczyszczeń pochodzących od źródła punktowego, działającego dostatecznie długo w stacjonarnych warunkach meteorologicznych (stała prędkość i kierunek wiatru, stałe jego pulsacje, co oznaczało niezmienność mieszania turbulencyjnego). Modele te nie uwzględniały zróżnicowań podłoża, a co najwyżej samooczyszczanie się warstwy granicznej atmosfery poprzez pułapkowanie części zanieczyszczeń przez podłoże. Zaletą tych modeli było to, że można było uzyskać dla nich rozwiązania analityczne i z ich pomocą rozwiązywać (przez zwykłe sumowanie) zagadnienia z wieloma źródłami (Berljand, 1975).

W epoce niedostatku maszyn cyfrowych wykonywano nawet tabele, nomogramy i opracowywano metody graficznych sposobów prognozowania skażeń. Sprawdzalność tych metod była bardzo mała w sensie wymagań dzisiejszych, ale wobec braku środków technicznych (obliczeniowych i pomiarowych) były one stosowane.

Wzrost mocy obliczeniowych EMC spowodował dalsze doskonalenie stosowanych już modeli. Zaczęto uwzględniać w nich niestacjonarność przepływu mas powietrza, niestacjonarność wydatku źródeł zanieczyszczeń, zależność turbulencji od wysokości, wpływ zróżnicowania terenowego i wiele innych szczegółów, a głównie dotyczących procesów zachodzących w warstwie granicznej atmosfery (Kazakow, 1978; Panowskij, 1988; Sorbjan, 1983). Korzyści ze stosowania takich modeli mogły być ewidentne tylko wtedy, gdy współpracowały one z drobnoskalowym modelem prognoz meteorologicznych, sporządzanym najczęściej tzw. metodą teleskopizacji modelu makroskalowego (Anthes, 1983). Modele te miały wspólną cechę: były deterministyczne i dynamiczne (tzn. stan zanieczyszczeń prognozowano z jednej warstwy czasowej na drugą, a odległość między warstwami mierzona była w minutach). Wydłużało to sam proces prognozy i ograniczało możliwości jej operacyjnego wykorzystania. Ponadto napotkano barierę prognozowalności układów dynamicznych, która w przypadku prognoz drobnoskalowych mierzy się godzinami (w zależności od klasy stabilności atmosfery mogą to być pojedyncze godziny lub pojedyncze dni (Manabe, 1988)).

Z wymienionych wyżej powodów w ostatnim okresie zaczęto stosować modele stochastyczno-dynamiczne, które z jednej strony uwzględniały determinizm związany z dynamiką procesu, z drugiej pozwalały uwzględnić nie do końca zdeterminowane wpływy rozmaitych czynników na propagację zanieczyszczeń (niekiedy

mające cechy czynników losowych). To podejście pozwoliło też oddalić barierę związaną z predyktabilnością układów dynamicznych. Zastosowanie podejścia stochastyczno-dynamicznego stało się możliwe dzięki rozwojowi dwu kierunków w nauce: teorii procesów stochastycznych (mających owocne zastosowanie w teorii sterowania) i związanych z nią różnych metod filtracji i predykcji stochastycznej (filtracja optymalna, Kalmana itd.) oraz teorii dualnych zagadnień sprzężonych w rozwiązywaniu zagadnień dynamicznych (Marczuk, 1981). Stworzyło to teoretyczne możliwości wyznaczania funkcji wpływu emisji zanieczyszczeń ze źródła na koncentrację skażeń w konkretnym miejscu przyziemnej warstwy atmosfery. Do określenia postaci tej funkcji niezbędne jest zadanie lokalnych i makroskalowych warunków meteorologicznych (Marczuk, 1985). W tym podejściu najistotniejsza staje się umiejętność prognozy lokalnych warunków meteorologicznych oraz prognozy wydatku źródeł emitujących zanieczyszczenia. Biorąc pod uwagę, że wydatek źródeł określony jest cyklem technologicznym bądź wyborem odpowiedniego wariantu tego cyklu, kluczowym problemem stał się pomiar stanu zanieczyszczeń i lokalnych warunków meteorologicznych.

Rola warunków meteorologicznych w kształtowaniu stanu zanieczyszczeń środowiska naturalnego

Zależności między przestrzennym rozkładem stanu zanieczyszczenia gleby, szaty roślinnej i przyziemnej warstwy atmosfery a zmiennymi w czasie warunkami meteorologicznymi są szczególnie istotne przy projektowaniu sieci monitoringu skażeń, prognozie stanu zanieczyszczeń oraz wykrywaniu obszarów szczególnie zagrożonych.

Zajmiemy się zanieczyszczeniami emitowanymi do atmosfery, pomijając świadomie zrzuty odpadów przemysłowych i komunalnych do cieków wodnych, gleby lub głębszych warstw gruntu. W tych ostatnich bowiem przypadkach rola warunków meteorologicznych jest znacznie mniejsza.

Emitowane do atmosfery zanieczyszczenia mogą w zależności od ich rodzaju podlegać ilościowo rozmaitym wpływom warunków meteorologicznych. W tych samych bowiem warunkach atmosferycznych różnie mogą zachowywać się **zanieczyszczenia bierne** (tj. takie, które nie ulegają przemianom od momentu opuszczenia emitora do chwili opadnięcia na powierzchnię terenu) i **czynne** (tj. takie, które mogą reagować z parą wodną lub innymi składnikami atmosfery). Z tego samego punktu widzenia różny będzie wpływ warunków atmosferycznych na tzw. **zanieczyszczenia ciężkie** (tj. takie, które pod wpływem siły ciężkości opadają z pewną stałą prędkością zależną od rozmiarów cząsteczki, np. pyły kominowe) i na tzw. **zanieczyszczenia lekkie** (tj. takie, które podlegają przede wszystkim procesowi dyfuzji, a ich prędkość opadania grawitacyjnego jest mała, np. zanieczyszczenia gazowe typu tlenków lub niektóre aerozole). Każdemu składnikowi zanieczyszczającemu atmosferę można nadać dwie cechy: **czynny** lub **bierny** i **ciężki** lub **lekki**. Klasyfikacja ta ma bardzo ważne znaczenie przy prognozowaniu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze.

Rozprzestrzenianie się substancji emitowanych do atmosfery jest sterowane dwoma podstawowymi procesami: **dyfuzją**, związaną z ruchami turbulencyjnymi powietrza, i **adwekcją**, związaną z transportem mas powietrza atmosferycznego. Każdy z tych procesów jest bardzo skomplikowany i szczegółowe ich omawianie wykracza poza ramy niniejszego artykułu. Warto jednak w tym miejscu zaznaczyć, że złożoność tych procesów implikuje trudność w prognozowaniu stanu zanieczyszczeń. Na przykład, turbulencja drobnoskalowa (związana z szybkimi pulsacjami wiatru) będzie powodowała głównie pęcznienie strug zanieczyszczeń, turbulencja zaś większych skal (związana z wolnymi pulsacjami wiatru) powoduje rozrywanie strug i tworzenie oddzielnych kłębków wirowych, niekiedy o dość dużych rozmiarach.

Przy monitoringu stanu zanieczyszczeń atmosfery zwrócić należy uwagę na jego funkcje informacyjną i ostrzegawczą. Najprostsza jest **funkcja informacyjna**. Sieć monitorująca informuje użytkownika, jakie jest stężenie zanieczyszczeń (globalne lub poszczególnych jego składników) **w miejscach lokalizacji przyrządów pomiarowych**. Podkreślenia użyto tu celowo, dając do zrozumienia, że przy dość nieregularnym przestrzennym rozkładzie zanieczyszczeń pomiar dokonany w szczególnym miejscu może nie reprezentować stopnia skażenia w jego otoczeniu. Jest to szczególnie widoczne przy badaniu zanieczyszczeń spalinami samochodowymi na terenie gęsto zabudowanym. Stopień zanieczyszczeń w danym dniu zależy nie tylko od natężenia ruchu na danej ulicy, ale również od stopnia jej wentylacji. Ulica biegnąca wzdłuż strug wiatru jest dobrze wentylowana, a biegnąca prostopadle ma wentylację słabą. Wentylacja ta ma zresztą związek nie tylko z kierunkiem wiatru, ale również z warunkami termicznymi wytworzonymi przez relację struktury zabudowań i ich ekspozycji względem Słońca. Warunki atmosferyczne kształtują tu również pionowy rozkład zanieczyszczeń.

Z punktu widzenia mieszkańców niskich pięter budynków niekorzystne są sytuacje wyżowe (w których występuje osiadanie mas powietrza), ze słabo rozwiniętą turbulencją termiczną i słabym wiatrem (niewielka wentylacja przyziemnej warstwy atmosfery). Niekorzystna jest również sytuacja atmosferyczna związana z tzw. inwersją termiczną. Jest ona często obserwowana przed południem w obszarach objętych wyżem atmosferycznym. W najczęściej spotykanych sytuacjach atmosferycznych temperatura powietrza obniża się wraz z wysokością przeciętnie o 0,7°C/100 m. W sytuacjach z inwersją termiczną to obniżenie temperatury odbywa się tylko do pewnej wysokości, a następnie występuje jej wzrost (lub obniżanie się znacznie wolniejsze). Na tej właśnie wysokości następuje gwałtowne wyhamowanie pionowych ruchów atmosfery (powierzchnia inwersyjna spełnia rolę jak gdyby ścianki bardzo słabo przepuszczalnej). Wszystkie zanieczyszczenia znajdujące się pod powierzchnią inwersyjną nie mogą być odprowadzone do wyższych warstw atmosfery i gromadzą się w warstwie przyziemnej. Jeżeli powierzchnia inwersyjna leży nisko (na wysokości do kilkudziesięciu metrów), to może to doprowadzić do pojawienia się toksycznych stężeń zanieczyszczeń w przyziemnej warstwie atmosfery wywołujących, przy dłuższym przebywaniu w tym rejonie, objawy zatruć.

Funkcja ostrzegawcza systemu monitorującego jest znacznie bardziej złożona niż funkcja informacyjna. Może ona mieć wiele poziomów ostrzegania. Omówimy pokrótce ważniejsze z nich:

— **ostrzeganie o istniejących przekroczeniach dopuszczalnego stężenia zanieczyszczeń atmosfery.** Jest to najprostsza forma ostrzegania, dotyczy bowiem już zaistniałej sytuacji i to jedynie w miejscach rozmieszczenia posterunków pomiarowych.

— **ostrzeganie o możliwościach wystąpienia przekroczeń dopuszczalnych stężeń w ciągu najbliższych godzin (lub nawet dni).** Ta forma ostrzegania wymaga już dość precyzyjnej znajomości lokalnych warunków atmosferycznych (obecnych i przyszłych), mocy emitorów zanieczyszczeń, ich lokalizacji oraz właściwości terenu w odniesieniu do jego oddziaływania zarówno na warunki atmosferyczne (podobnie jak w terenie zabudowanym), jak i na same zanieczyszczenia (chodzi tu głównie o zdolności ich pułapkowania przez poszycie terenu). Na tę formę ostrzegania bardzo duży wpływ mają opady atmosferyczne, mające właściwości wychwytywania cząsteczek zanieczyszczeń i lokowania ich wraz z kroplami wody w podłożu. Proces wymywania przez opad zanieczyszczeń zależy od intensywności opadu, średniego rozmiaru kropel w opadzie i średniego rozmiaru cząsteczki wychwytywanego zanieczyszczenia. Prognoza takich stanów jest więc procesem złożonym i wymaga znajomości warunków atmosferycznych wielkoskalowych i lokalnych.

— **ostrzeganie o zagrożeniach w długich przedziałach czasu.** Tę formę ostrzegania można zastosować w sytuacji, gdy znane są długotrwałe zmiany bądź w geometrii rozkładu emitorów, bądź ich mocy, bądź też lokalnych warunków terenowych (budowa dużych zbiorników wodnych, melioracje gruntów, radykalna zmiana struktury upraw lub zalesiania itp.). Stosuje się ją najczęściej jako jedną z form ekspertyz dotyczących długotrwałego wpływu poszczególnych emitorów na otaczające środowisko.

Wszystkie formy ostrzegania mogą być wykorzystane do sterowania procesami emisji zanieczyszczeń (jeśli technologia na to pozwala) w ten sposób, by minimalizować straty środowiskowe.

Z przedstawionych w bardzo skrótowej formie wywodów można wnioskować, że wpływ warunków meteorologicznych na kształtowanie przestrzennego rozkładu zanieczyszczeń atmosfery jest zasadniczy. Te same zanieczyszczenia mogą w sytuacji niżowej bez opadu być wyniesione szybko do wyższych warstw atmosfery lub w sytuacji z opadem być wymyte i opaść na teren w pobliżu emitora, bądź w sytuacji wyżowej z inwersją termiczną gromadzić się w przyziemnej warstwie atmosfery.

Chcąc skorzystać z funkcji ostrzegawczej systemu monitorującego stan zanieczyszczeń atmosfery należy go wyposażyć w dodatkowy system pomiarów meteorologicznych. Powinien on być rozbudowany stosownie do stopnia ostrzegania i dostosowany do lokalnych warunków terenowych.

Koncepcja mezoskalowego modelu oceny i prognozy stanu zanieczyszczeń przyziemnej warstwy atmosfery

A. Założenia. Obszar objęty modelowaniem najczęściej będzie miał przeciętny rozmiar aglomeracji miejsko-przemysłowej i zaopatrzony będzie w sieć pomiarową

podstawowych elementów meteorologicznych oraz monitorującą bieżący stan zanieczyszczeń. Dane pomiarowe z sieci stanowić będą dla modelu dane początkowe dotyczące stanu zanieczyszczeń oraz wartości weryfikujące prognozę modelową. Mogą być również użyte do identyfikacji niektórych parametrów modelu. Sieć pomiarowa może mieć lokalizację dowolną, pod jednym wszak warunkiem, że dane z posterunków pomiarowych sieci będą reprezentatywne dla „pewnego otoczenia" tych punktów. Pojęcie „pewnego otoczenia" należy uzgodnić z projektantem sieci, ponieważ ma ono duży wpływ na konstrukcję numeryczną samego modelu oraz na jakość jego weryfikacji. Również uzgodnień będzie wymagać wprowadzenie czasu uśredniania pomiaru. Prognoza stanów chwilowych zanieczyszczeń atmosfery (jak i ruchów powietrza w samej atmosferze) jest w świetle współczesnych badań w ogólności niemożliwa. Możliwa jest natomiast prognoza stanów średnich, tzn. uśrednionych w przedziale czasu rzędu pojedynczych minut. Sens stosowania do tych celów modelu zachodzi wtedy, gdy dodatkowo spełniona jest hipoteza ergodyczności w kostce czaso-przestrzennej „pewne otoczenie"*czas uśredniania. Geometria sieci pomiarowej, lokalizacja przyrządów pomiarowych, dokładności pomiarów, czas uśredniania pomiaru i określenie wszystkich innych czynników warunkujących **reprezentatywność pomiaru** jest problemem z reguły trudnym do rozwiązania, wymagającym **optymalizacji** oraz niekiedy daleko idących **kompromisów** między projektantem sieci a jej użytkownikiem. Chodzi m.in. o to, aby w pobliżu posterunków pomiarowych znajdowało się np. okablowanie telefoniczne, co może kolidować (co do wyboru lokalizacji) z reprezentatywnością pomiaru. Również i liczba posterunków stoi w opozycji do ceny instalacji systemu. Wszystkie te problemy, pozornie tylko „nienaukowe" i „nietechniczne", są nimi *sensu stricto*.

Pod pojęciem „stanu zanieczyszczeń" będziemy rozumieć wskazania przyrządów sieci pomiarowej uśrednione w pewnym przedziale czasu, niezależnie od tego, czy mierzonym zanieczyszczeniem są składniki gazowe, aerozole czy pyły. Zakładamy ponadto znajomość:

— rozmieszczenia (geometrii) głównych emitorów zanieczyszczeń oraz wartość średnią ich wydatku w poszczególnych składnikach oddzielnie. Dane te w okresie testowania modelu powinny być dość dokładne, w pracy operacyjnej zaś wystarczą zgrubne;

— warunków meteorologicznych umożliwiających ustalenie średnich kierunków adwekcji w obszarze i średnich stanów stabilności według klasyfikacji Tannera-Pasquilla;

— chemicznego składu zanieczyszczeń.

B. Idea modelu będzie wykorzystywać fakt, że użytkownik żądać będzie jedynie wskazań przyrządów w punktach, w których umieszczone są posterunki pomiarowe systemu. Oznacza to, że można odstąpić od rozwiązywania modelu ewolucyjnego badającego zmienność w czasie stężenia zanieczyszczeń, a rozwiązać zagadnienie metodą konstruowania tzw. „funkcji wpływu" w pewnych typach warunków atmosferycznych.

Z opisów literaturowych znany jest fakt, że wskazania zanieczyszczeń w punkcie P_1, pochodzących od emitora posadowionego w punkcie P_2 dadzą się przedstawić w postaci

$$\bar{q}(P_2,t)=G(P_1P_2t;\alpha_1,\ldots,\alpha_n)\bar{Q}(P_1)$$

gdzie: $\bar{q}(P_2,t)$ — średnie wskazanie zanieczyszczeń w punkcie P_2 po czasie t, $\bar{Q}(P_j)$ — średni wydatek emitora w punkcie P_j zaczynającego pracę w chwili $t=0$, G — funkcja wpływu zależna od odległości $\overline{P_1P_2}$, czasu t oraz parametrów α_i charakteryzujących stan atmosfery.

Oczywisty jest również fakt, że przy niereagujących chemicznie ze sobą domieszkach iloczyny $G\bar{Q}$ są addytywne, co pozwala sumować wpływ zanieczyszczeń od poszczególnych źródeł i znajomość G oraz $\bar{Q}$ teoretycznie rozwiązuje problem. Słowa „teoretycznie" użyto celowo, bowiem w praktyce — jak wykazują badania literaturowe — wielkość $\bar{q}$ obarczona jest szumami wynikającymi z:

— nieprecyzyjnego obliczenia G,

— nieprecyzyjnego pomiaru $\bar{Q}$,

— istnienia źródeł obcych emitorów (nie ujętych w geometrii, np.: kominy domów mieszkalnych lub leżących poza rozpatrywanym obszarem),

— niedoskonałości realizacji numerycznej samego modelu.

Dość pracochłonne (ale ideowo proste) jest wyliczenie i stabelaryzowanie funkcji G.

Założymy, że transport zanieczyszczenia q_i opisywany jest równaniem

$$\frac{\partial q_i}{\partial t}+\vec{v}.\nabla q_i+\sigma_i^{-1}q_i-\mu\nabla^2 q_i+\frac{\partial}{\partial z}\left(v\frac{\partial q_i}{\partial z}\right)=\sum_{n=i}^{N}Q_n\delta(\vec{x}-\vec{x}_n)\equiv Q$$

gdzie: μ, v — współczynniki dyfuzji turbulentnej, σ_i — średni czas ubywania (zaniku) substancji q_i, jeśli wchodzi ona w reakcję np. z wodą.

Znalezienie funkcji wpływu G sprowadza się do rozwiązania zagadnienia sprzężonego do tego równania. Tak obliczana funkcja wpływu jest daną teoretyczną i istnieje nadzieja, że rzeczywista wartość G będzie się od niej różnić nieznacznie, tzn. różnicę można będzie traktować jako losowy szum obliczeniowy. Pozostałe wartości, wymienione wyżej jako szumy, są trudne do oddzielnego szacowania i jedną z możliwych metod do predykcji stanu zanieczyszczeń jest użycie filtru Kalmana do „poprawiania" obliczanych wartości q_i przez wartości mierzone w sieci pomiarowej według schematu umieszczonego na rys. 1.

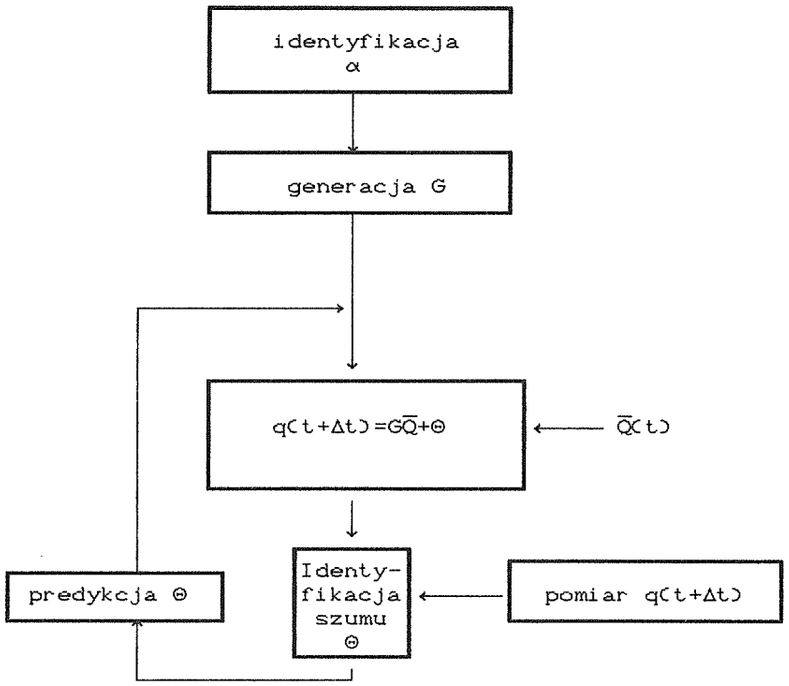
Ogólna koncepcja technicznej realizacji systemu

Każda konkretna realizacja będzie wymagać indywidualnego projektu, ściśle powiązanego z modelem numerycznym propagacji zanieczyszczeń dostosowanym do lokalnych warunków, uwzględniającym rzeźbę terenu, mikroklimat, rozmieszczenie i wydatek głównych emitorów zanieczyszczeń.

W skład systemu wejdą:

— jednostka centralna systemu (JCS)

— automatyczne stacje pomiarów zanieczyszczeń (ASPZ)



Rys. 1. Schemat funkcyjny systemu

Fig. 1 Functional scheme of system

— automatyczne stacje pomiarów meteorologicznych (ASPM)

— odległe terminale zobrazowania wyników (monitory ekranowe, wyświetlacze, rejestratory itp.).

Liczba i lokalizacja poszczególnych stacji wynikać musi z potrzeb modelu prognostycznego dostosowanego do lokalnych warunków. Jednak ogólnie można przyjąć, że ilość ASPM będzie większa niż ASPZ. Wynika to z potrzeby dokładniejszej znajomości stanu atmosfery, ale przede wszystkim ze względów ekonomicznych, gdyż koszt ASPM będzie wielokrotnie niższy niż ASPZ, nawet przy minimalnym programie pomiarowym tej drugiej.

Jednostka centralna systemu (JCS) może być oparta na seryjnym mikrokomputerze PC 286 lub 386 z odpowiednimi interfejsami i oprogramowaniem.

Zadaniem jednostki centralnej jest:

— sterowanie pracą całego systemu,

— zbieranie i przetwarzanie danych pomiarowych,

— wykonywanie obliczeń zgodnie z zainstalowanym modelem prognostycznym,

— zobrazowanie wyników głównie aktualnego i prognozowanego stanu zanieczyszczeń,

— archiwizacja wyników,

— sygnalizowanie przekroczenia stanów alarmowych,
— analiza stanów alarmowych oraz krótkoterminowa prognoza rozwoju sytuacji,
— przygotowanie informacji niezbędnych do właściwej oceny nadzwyczajnych zagrożeń środowiska,
— przygotowanie zakresu czynności niezbędnych do minimalizacji i usuwania skutków nadzwyczajnych zagrożeń środowiska.

Jednostka centralna powinna być zlokalizowana w centrum dyspozytorskim użytkownika systemu i obsługiwana przez operatora systemu, który jako jedyny ma możliwość ingerowania w pracę systemu, wprowadzania danych zewnętrznych, ustalania kryteriów alarmowych. Oprogramowanie jednostki centralnej musi zabezpieczać dane pomiarowe uzyskiwane ze stacji automatycznych przed jakąkolwiek ingerencją, aby uniemożliwić manipulację nimi.

Automatyczne stacje pomiarów zanieczyszczeń (ASPZ) dokonują ciągłych pomiarów stężeń zanieczyszczeń występujących na danym obszarze, wstępnie przetwarzają dane pomiarowe i transmitują je do jednostki centralnej systemu. Transmisja danych cyfrowych może odbywać się telefonicznym łączem przewodowym bądź drogą radiową. Ze względów niezawodnościowych, jak również odporności na zakłócenia, należy preferować transmisję przewodową. Dlatego też projektując lokalizację posterunków pomiarowych trzeba uwzględniać możliwość wykorzystania istniejącej w terenie sieci telefonicznej, co pozwoli obniżyć koszty instalacji, stanowiące znaczną część całkowitych kosztów systemu.

Automatyczne stacje pomiarów meteorologicznych (ASPM) mogą być zlokalizowane w tych samych miejscach co ASPZ, tworząc wspólne posterunki pomiarowe bądź oddzielnie. W przypadku lokalizacji wspólnej, transmisja danych może być obsługiwana przez ten sam procesor. Dalsze sprzęganie stacji, tzn. obsługiwanie poszczególnych mierników przez wspólny sterownik, jest nieopłacalne ze względu na niskie stosunkowo koszty mikroprocesorów. Rozłożenie pracy systemu na wiele procesorów pozwala w przypadku awarii któregoś z jego elementów realizować tzw. „procedurę łagodnego upadku", polegającą na przejmowaniu zadań procesora, który uległ awarii, przez inny procesor tak, aby nie spowodowało to wyłączenia pracy całego systemu.

Programy pomiarowe poszczególnych ASPM mogą się różnić między sobą, jednak wszystkie powinny zawierać podstawowe pomiary obejmujące:
— ciśnienie atmosferyczne,
— temperaturę powietrza,
— temperaturę punktu rosy (lub wilgotność względną),
— prędkość wiatru,
— kierunek wiatru,
— wielkość opadu,
— promieniowanie słoneczne.

Konstrukcja ASPM musi przewidywać możliwość dołączenia mierników innych elementów meteorologicznych bądź zwiększenia liczby punktów pomiarów podstawowych, np. temperatury na kilku poziomach.

Odległe terminale zobrazowania wyników mogą być umieszczone w różnych miejscach w zależności od potrzeb, głównie w instytucjach odpowiedzialnych za stan środowiska w danym rejonie (Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Wydział Ochrony Środowiska Urzędu Wojewódzkiego) oraz centralach dyspozytorskich służb technicznych odpowiedzialnych za likwidacje skutków awarii skażających środowisko. Terminale powinny umożliwiać dostęp do wszystkich danych pomiarowych, wyników obliczeń oraz stosowanych aktualnie procedur, bez możliwości ingerowania w pracę systemu. Zobrazowanie wyników na monitorach ekranowych powinno m.in. pokazywać w trybie graficznym obszary o zadanych stężeniach zanieczyszczeń. Optymalnym rozwiązaniem będzie wykorzystanie jako inteligentnych terminali mikrokomputerów PC AT lub XT, połączonych poprzez modemy i sieć telefoniczną z jednostką centralną systemu.

Automatyczna stacja pomiarów meteorologicznych dla potrzeb ochrony środowiska

Proponowana konfiguracja stacji może być stosowana w systemach monitoringu środowiska, lokalnych systemach prognozowania stanu zanieczyszczenia atmosfery, systemach ostrzegania o nagłych zagrożeniach środowiska itp.

W wersji podstawowej stacja realizuje pomiary:
- ciśnienia atmosferycznego,
- temperatury powietrza,
- wilgotności względnej,
- prędkości wiatru,
- kierunku wiatru,
- wielkości opadu,
- promieniowania słonecznego.

Mogą być też dołączone inne mierniki, np. temperatury punktu rosy, temperatury powietrza i gruntu w kilku punktach. Umożliwia to modułowa budowa stacji oraz stosowanie techniki mikroprocesorowej już na poziomie poszczególnych mierników.

Omawiana stacja zainstalowana jest na maszcie wysokości 10 m, na którego szczycie jest umocowana pozioma belka z dwoma oddzielnymi przetwornikami prędkości i kierunku wiatru. Na wysokości 2 m nad poziomem gruntu znajduje się druga belka, na której znajdują się: przetwornik promieniowania słonecznego oraz przetworniki temperatury i wilgotności, umieszczone w osłonie radiacyjnej (klatce meteorologicznej). Kaseta pyło- i bryzgoszczelna, w której umieszczone są: jednostka centralna stacji, zasilacz sieciowy oraz źródło zasilania awaryjnego, przymocowana jest do masztu na wysokości ok. 1 m.

Podstawowe dane techniczne stacji dotyczące: jednostki centralnej, przetworników ciśnienia, temperatury, wilgotności, prędkości i kierunku wiatru, wraz ze szczegółowymi informacjami w zakresie opracowania i przygotowania stacji do produkcji, mogą być przez autorów udostępnione zainteresowanym.

Maszynopis wpłynął do Redakcji 6 I 1992 r.

Literatura

Anthes R. A., 1983, *Regional models of the atmosphere in middle latitudes*. Mon. Weather Rew., t. 111.

Berljand M. E., 1975, *Sowriemiennyje problemy atmosfiernoj diffuzii i zagriaznienije atmosfiery*. Leningrad, Gidromietizdat.

Kazakow A. L., Łazrijew G. L., 1978, *O paramietrizacyi priziemnogo sloja atmosfiery i diejatielnogo sloja poczwy*. Izw. AN SSSR, Gieofizika, nr 3.

Manabe S., 1988, *Dinamika pogody*. Leningrad, Gidromietizdat.

Marczuk G. I., 1981, *Primienienije sopriażennych urawnienij k rieszeniju zadacz matiematiczeskoj fiziki*. Uspiechi miechaniki, nr 1.

Marczuk G. I., 1985, *Modelowanie matematyczne problemów środowiska naturalnego*. Warszawa, PWN.

Panowskij G. A., 1988, *Planietarnyj pogranicznyj sloj*. [W:] Manabe S., *Dinamika pogody*, Leningrad, Gidromietizdat.

Sorbjan Z., 1983, *Turbulencja i dyfuzja w dolnej atmosferze*. Warszawa, PWN.

Summary

The role of meteorological conditions in diffusion of different kinds of pollutions (gase, dust, heavy, light etc.) is discussed. Moreover the fundamental function of informatic-measure system for monitoring of the atmosphere pollutions is discussed too.

The conception of forecasting model for prediction of the state of pollutions for boundary layer in the atmosphere has been presented. This conception is based on resolving the equations of the conjugate problems. The conception of technical aspect for this system and description its fundamental elements has been presented in this paper.

MATERIAŁY DO DZIEJÓW GEOFIZYKI

Zygmunt BARTKOWSKI

Oddział Warszawski PTGeof.

DZIAŁALNOŚĆ OBSERWATORIUM ASTRONOMICZNEGO W WARSZAWIE W KRÓLESTWIE POLSKIM

ACTIVITY OF THE ASTRONOMICAL OBSERVATORY IN WARSAW IN THE KINGDOM OF POLAND

Pod koniec XIX wieku wprowadzenie metod astronomicznych do pomiarów kraju wymagało odpowiedniej bazy technicznej, wyposażonej w precyzyjny sprzęt pomiarowy. Rolę tę spełniały obserwatoria astronomiczne, które — poza obserwacjami ciał niebieskich — uprawiały także kierunek astronomiczno-geodezyjny, służący do sporządzania map geograficznych. Działalność taka koncentrowała się głównie na wyznaczaniu metodą astronomiczną położenia punktu (miejscowości) na Ziemi, tj. długości i szerokości geograficznej oraz wysokości nad poziomem morza.

Za panowania króla Stanisława Augusta Poniatowskiego przedsięwzięto systematyczne pomiary całego kraju. Pracami korpusu artylerii kierował geograf królewski, pułkownik Karol de Perthès (1740–1815). W wyniku tych pomiarów opracowano mapę topograficzną całej Rzeczypospolitej w granicach sprzed 1772 r. oraz oddzielnie mapy każdego województwa. Korpus inżynierii, na koszt starosty nowogrodzkiego Tadeusza Czackiego (10 000 czerwonych złotych), przygotował mapę hydrograficzną dawnej Polski. Oryginalne materiały, złożone w Komisji Skarbowej, zostały później wywiezione do Petersburga.

Biblioteka Załuskich posiadała znaczny zbiór map obszaru Polski przedrozbiorowej, szacowany na 153 pozycje duplikatów map. Mapy takie drukowano zarówno w Polsce, jak i za granicą[1], jednak ich wartości nie oceniał wysoko Jan Śniadecki (1756–1830) w swojej *Jeografii*. Nazywał je „kartami hipotetycznymi", zarzucając im opieranie się na domysłach i domniemaniach, a także na niepewnych pomiarach odległości. Najwięcej obiekcji budzi ocena położenia względem stron świata za pomocą

[1] Jan Śniadecki, *Jeografia. Dzieła*, t. 6 i 7, Warszawa, 1837.

igły magnetycznej. W tych latach nie stosowano poprawek na zmiany czasowe elementów magnetyzmu ziemskiego. Jeszcze Jan Baranowski (1800–1879)[2] twierdził, że kąt, jaki wskazówka kompasu tworzy z poziomem, jest równy szerokości geograficznej miejsca ustawienia kompasu.

Sam Śniadecki zalecał triangulację jako środek jedyny do poprawnych i dokładnych pomiarów kraju. Na polecenie Tadeusza Czackiego opracował taki projekt i złożył go w Komisji Skarbowej już po uchwaleniu Konstytucji 3 Maja. Opierał się on na pomiarze łuku południka od Karpat do Morza Bałtyckiego (około 10°) i łuku równoleżnika od granic Śląska do Dniepru (około 15°). Odcinki te miały być wymierzone z największą dokładnością, aby mogły stanowić podstawę do założenia sieci triangulacyjnej całego kraju. Rozwój zdarzeń politycznych uniemożliwił realizację tego projektu.

Zmiany terytorialne, związane z likwidacją skutków wojen napoleońskich w Europie, utrwaliły rozbiory Polski przez utworzenie na Kongresie Wiedeńskim w roku 1815 czterech dzielnic: Królestwa Polskiego z dziedzicznym królem, którym był każdorazowy car rosyjski, Wielkiego Księstwa Poznańskiego pod władzą króla pruskiego, Wolnego Miasta Kraków z okolicą oraz Galicji pod zwierzchnictwem cesarza austriackiego. Przyznana Królestwu odrębność państwowa pociągała za sobą konieczność odpowiedniego ukształtowania władz i instytucji.

Brakiem uczelni wyższej w nowo powstałym Królestwie uzasadniał minister oświaty Stanisław Kostka P o t o c k i (1755–1821) konieczność utworzenia w Warszawie uniwersytetu. Powstał on w 1816 r. jako Królewski Uniwersytet Warszawski (Bieliński, 1907–1912). Oddział filozoficzny uniwersytetu prowadził katedrę astronomii, gdzie przedmiot ten wykładał profesor Franciszek A r m i ń s k i (1789–1848).

Rys. 1. Profesor Franciszek Armiński (1789–1848), założyciel Obserwatorium Astronomicznego w Warszawie

Fig. 1. Professor Franciszek Armiński (1789–1848), initiator of the Astronomical Observatory in Warsaw

Wystąpił on także z inicjatywą budowy obserwatorium astronomicznego. Inicjatywa ta spotkała się z uznaniem u władz zwierzchnich, u których Armiński zabiegał nie tylko o środki na samą budowę, lecz także na wyposażenie i aparaturę (Rybka, Rybka, 1983).

[2] Jan B a r a n o w s k i, *Położenie geograficzne Warszawy*, Biblioteka Warszawska, 1843, t. IV.

Okazały gmach został ostatecznie zlokalizowany przy ogrodzie botanicznym, a rozpoczętą w 1820 r. budowę wykończono w 1825 r. Działalność obserwatorium miała być ukierunkowana na programy: astronomiczny, meteorologiczny i pedagogiczny. Ostatni wynikał z przynależności obserwatorium do Uniwersytetu, gdzie studenci mogli pogłębiać praktycznie nabytą wiedzę. Mimo zlikwidowania Uniwersytetu w ramach represji po powstaniu listopadowym Obserwatorium Astronomiczne zostało utrzymane i prowadziło dalej swe prace obserwacyjne (Bieliński, 1907–1912).

Zależność pracy astronomów od warunków atmosferycznych powodowała, że pomiary, określane obecnie jako meteorologiczne, wchodziły w zakres czynności traktowanych wówczas jako astronomiczne. Program kursu astronomii Armińskiego przewidywał także wykłady z geodezji, pod którą rozumiano wówczas też umiejętność sporządzania map geograficznych i morskich wraz z ich użytkowaniem. Właściwe wykorzystanie pomiarów kątów pionowych (odległość zenitalna ciał niebieskich) oraz poziomych wymagało wprowadzenia poprawek na refrakcję astronomiczną i ziemską. W wykładzie podawano sposoby obliczania tablic refrakcji przy znanych wartościach temperatury i gęstości powietrza oraz odległości zenitalnej obiektu na niebie. Ze względu na wysokie koszty i czasochłonność metody geometrycznej w pomiarach wysokości stosowano także niwelację barometryczną, którą włączano w zakres astronomicznego wyznaczania współrzędnych punktu na Ziemi.

Na terenach przejętych w drodze rozbiorów Polski rządy państw zaborczych przeprowadziły własne pomiary terenowe. Wydane na ich podstawie mapy były opracowane według metody Lehmana, co przesądziło o ich przydatności do opisów geologicznych G. G. P u s h a [3]. Mapy te obejmowały południowe Prusy (Wielkie Księstwo Poznańskie), Galicję oraz obszar po lewej stronie Wisły, obejmujący Toruń, Warszawę, Pilicę do granicy śląskiej. W swojej *Jeografii* Śniadecki podawał długość i szerokość geograficzną m.in. tylko paru miejscowości na obszarze przedrozbiorowej Polski, uzupełnione jednak danymi z 44 punktów zawartych w granicach Rzeczypospolitej sprzed 1772 r., które otrzymał od Wincentego W i ś n i e w s k i e g o (1781–1855), członka akademii petersburskiej i profesora astronomii w Uniwersytecie Petersburskim, Polaka z pochodzenia (urodzonego w Warszawie). Z polecenia ministerstwa marynarki Wiśniewski w latach 1806–1815 prowadził na dużym obszarze Rosji, od Libawy do Jekaterynburga oraz od Mezeni do Elbrusu, tj. od 60 do 20° szerokości północnej, pomiary współrzędnych geograficznych w sumie 223 miejscowości. Śniadeckiemu przekazał on dane dotyczące obszaru Polski przedrozbiorowej. Zatem rządy państw zaborczych, każdy w swoim zakresie, robiły pomiary na nowo w anektowanych prowincjach; podobne zadanie miał do wypełnienia rząd Królestwa Polskiego.

Oddział sztuk pięknych Uniwersytetu Królewskiego prowadził szkołę budownictwa i miernictwa z katedrą miernictwa i niwelacji pod kierownictwem Juliusza C o l b e r g a (1776–1831). Uprawiała ona miernictwo topograficzne i ekonomiczne, to drugie tak nazwane ze względu na ukierunkowanie na potrzeby komunalne Królestwa. Colberg pracował jako inżynier geograf przy pomiarze ówczesnych Prus

[3] Georg Gottlieb P u s h, *Geognostische Beschreibung von Polen*, t. I, Stuttgart 1833.

Południowych, a po powstaniu Księstwa Warszawskiego w 1808 r. przeszedł do Komisji Spraw Wewnętrznych Księstwa jako inspektor pomiarów. W toku pracy zawodowej spełniał różne rządowe zlecenia techniczne i naukowe. W 1827 r. wydał atlas Królestwa Polskiego, składający się z 8 map geograficznych, z których każda przedstawiała jedno województwo. Król (car rosyjski) nadał mu za to tytuł szlachecki ze zmianą nazwiska na Kolberg, a sam nobilitowany zaczął się podpisywać Kolberg-Kołobrzeg.

Wyposażenie Obserwatorium Astronomicznego w odpowiednią aparaturę pochłonęło znaczne sumy pieniędzy, o które z poświęceniem zabiegał Armiński. Z kolei władze zwierzchnie spodziewały się, jako ekwiwalentu za włożony kapitał, rewelacyjnych wyników z prac obserwacyjnych. Armiński słusznie bronił się, że w warunkach nowo powstałego obserwatorium otrzymanie dokładnych danych wymaga paruletniej pracy nad weryfikacją poprawności i dokładnością posiadanych przyrządów oraz dysponowania odpowiednimi pomocami, jak tablice i roczniki astronomiczne. Dlatego też w działalności obserwatorium początkowo zaznaczył się kierunek geodezyjny i meteorologiczny.

Już podczas budowy Armiński zamówił odpowiednie instrumenty pomiarowe. Z fabryk Ertela i Reichenbacha w Monachium sprowadził koło południkowe i wierzchołkowe, każde o średnicy jednego metra, oraz lunetę południkową (instrument przejściowy). Wyposażenie meteorologiczne, zakupione w 1820 r. u Fortina w Paryżu, składało się z 3 barometrów rtęciowych, kilku termometrów, higrometru naczyniowego oraz higrometru włosowego. Kierunek wiatru mierzył anemoskop z różą wiatrów, umieszczoną u sufitu nad głównymi schodami z wyprowadzeniem na dach zachodniego pawilonu obserwatorium (Lipska, 1986). Z późniejszych nabytków można wymienić meteorograf Girarda o bardzo złożonej konstrukcji, opartej na ciężkim wahadle, wprawiającym w ruch cały mechanizm rejestrujący. Okazał się on jednak mało przydatny w zastosowaniach. Publikowane obserwacje zawierały następujące rubryki: stan barometru, temperaturę, wilgotność (stan psychrometru), stan nieba (np. pochmurno, deszcz), kierunek wiatru i wysokość opadu.

Przyrządy Obserwatorium Astronomicznego służyły jako wzorcowe przy atestowaniu aparatury do pomiarów w terenie. Spostrzeżenia meteorologiczne robił w latach 1826–1835 Jan Baranowski, a po nim w latach 1835–1851 Adam Prażmowski (1821–1885). Baranowski w 1848 r. został dyrektorem Obserwatorium po Armińskim, który w tym roku umarł.

Prace nad nową mapą Królestwa Polskiego sponsorowała Komisja Rządowa pod przewodnictwem generała artylerii Maurycego Haukego (1773–1830). Już w marcu 1827 generał Hauke prosił ministra oświaty Grabowskiego o zezwolenie na prowadzenie na terenie obserwatorium prac pomiarowych przez trzech oficerów artylerii ze sztabu generalnego kwatermistrzostwa wojska. Dotyczyły one wyznaczenia biegu południka oraz pomiarów wstępnych do triangulacji okolic Warszawy. Kiedy w 1828 r. zaktualizowała się sprawa triangulacji dóbr górniczych w okolicach Kielc po lewej stronie Wisły, gen. Hauke poprosił o włączenie do tych pomiarów i Zamościa, po prawej stronie. Twierdza w Zamościu, przejęta przez władze Królestwa w 1820 r., została zmodernizowana i dozbrojona.

Wyniki pomiarów miały być podane do wiadomości kwatermistrzostwa. Mapa Królestwa została ostatecznie wydana w 1843 r.

Ze względu na brak ścisłych danych o położeniu Warszawy, generał Hauke zwrócił się drogą służbową do Obserwatorium Astronomicznego o podanie mu do wiadomości potrzebnej informacji. Odpowiedź Armińskiego charakteryzuje zarówno metody obserwacji, jak i stopień zaawansowania prac. Przedstawia on wyciąg z *Dziennika obserwacji*:

1) na podstawie 13 obserwacji odległości zenitalnej gwiazdy polarnej i innych gwiazd podaje średnią szerokość geograficzną Warszawy — 52°13′1,54″;

2) obserwacje okultacji gwiazd i zaćmień księżyców jowiszowych w Obserwatorium Astronomicznym (dla otrzymania chociażby przybliżonych wartości długości geograficznej). Przedstawione dane mogą być wykorzystane dopiero po otrzymaniu wyników porównawczych pomiarów z obserwatoriów w Paryżu i Dorpacie.

Obserwacje czasu okultacji Armiński traktował jako przybliżone, gdyż robił je za pomocą zegarka kieszonkowego, nie mogąc doczekać się chronometru zamówionego w Warszawie u zegarmistrza Gugenheima. Zasadniczo do określenia długości geograficznej potrzebny jest chronometr i luneta achromatyczna (do obserwacji okultacji gwiazd). Przy wyznaczaniu szerokości stosowano, oprócz zegara, barometr, termometr i koło podziałowe, ustawione w południku i zweryfikowane dokładnie. Dane Armińskiego przedstawiały w zasadzie współrzędne koła podziałowego, umieszczonego na słupie w sali obserwatorium.

W 1829 r. przeprowadzono w Warszawie pomiary trygonometryczne łączące Obserwatorium Astronomiczne z zamkiem królewskim oraz innymi punktami w rejonie miasta. Położenie wieży telegrafu zamku uznano za reprezentatywne dla kraju i Warszawy.

Reorganizacja Królestwa, będąca skutkiem klęski powstania listopadowego, nie spowodowała zmian personalnych w obsadzie Obserwatorium Astronomicznego, którego działalność uwidoczniała się głównie przez publikacje wyników obserwacji meteorologicznych w prasie. Przy niwelacji barometrycznej obserwatorium stanowiło bazę do porównania stanów barometru i termometru w punktach pomiarowych, jeżeli uczestniczyło w pracach.

W zachodnich guberniach cesarstwa astronom Wilhelm Struve (1793–1864) rozpoczął pomiar długości południka ziemskiego w 1822 r. Z Estonii prace rozciągnęły się na północ, do Morza Lodowatego i na południe, do Dunaju w Mołdawii, obejmując 25°20′ łuku południka. Większą część pomiarów przeprowadził generał rosyjski Karol Tenner (1783–1860), który połączył je z triangulacją zachodnich części Rosji. Obejmowała ona w dużej mierze ziemie dawnej Polski, wcielone do Rosji w czasie rozbiorów. Od roku 1847 Tenner kierował triangulacją Królestwa Polskiego. W pracach tych warszawskie Obserwatorium Astronomiczne nie brało bezpośredniego udziału, korzystano natomiast z jego pracowników: Baranowski wyznaczył położenie kilku punktów w Królestwie, podczas gdy Prażmowskiemu zlecono parę zadań do wykonania.

Triangulację Prus Wschodnich przeprowadził w latach 1831–1841 astronom niemiecki Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846). Na podstawie 10 najlepszych

pomiarów długości 1 stopnia południka określił on elementy elipsoidy ziemskiej, nazwanej jego imieniem. Jeszcze po 100 latach stała się ona podstawową sferoidą, stosowaną przy triangulacji Polski.

Prażmowski w latach 1846–1847 przebywał w obserwatorium w Pułkowie pod Petersburgiem, którego dyrektor W. Struve ocenił wysoko jego umiejętności fachowe. Przy triangulacji Królestwa powierzono mu wyznaczanie położenia geograficznego paru punktów, które służyły do połączenia sieci Królestwa z sieciami geodezyjnymi Prus i Austrii. W 1852 r. Struve powierzył Prażmowskiemu kierownictwo ekspedycji udającej się do Mołdawii w celu ostatecznego sprawdzenia niektórych punktów łuku południka, mającego tam swój koniec.

Tytuły sprawozdań opublikowanych w książce F. B a y e r a [4] najlepiej przedstawiają tematykę jego zadań[5]. Ostatecznie prace pomiarowe długości łuku południka zakończyły się w 1855 r., wyniki zaś opublikowano w 1861 r. Do prac pomocniczych należało także oznaczenie długości geograficznej Warszawy w 1845 r.[6]; sponsorował je sztab generalny w Petersburgu, z którego polecenia prowadzono wszystkie pomiary triangulacyjne w Rosji. Do tego celu użyto 40 chronometrów, które przewożono z Petersburga do Warszawy i z powrotem. Różnica czasów obserwacji tych samych obiektów na niebie przedstawiała różnicę długości geograficznej między Warszawą a Pułkowem. W warszawskim Obserwatorium Astronomicznym zadanie porównania chronometrów powierzono Prażmowskiemu, a transportem przyrządów zajmował się syn Wilhelma — Otto Wilhelm S t r u v e (1819–1905). Podobne pomiary przeprowadzono także i dla innych miast w Rosji.

Prażmowski, który zasłużył sobie na miano pierwszego polskiego astrofizyka, do historii polskiej meteorologii przeszedł jako twórca skali higrometrycznej do odczytywania wilgotności powietrza ze wskazań termometru suchego i wilgotnego. Pod nazwą „l'échelle hygrométrique de M. Prażmowski" skala ta była używana na statkach marynarki francuskiej w zeszłym stuleciu. Prażmowski za udział w powstaniu styczniowym musiał w 1864 r. wyemigrować do Francji, gdzie już pozostał do śmierci (Wójcik, 1988).

Maszynopis wpłynął do Redakcji 9 XI 1992 r.

Literatura

B i e l i ń s k i J., 1907, 1911, 1912, *Królewski Uniwersytet Warszawski (1816–1931)*, Warszawa.
L i p s k a A., 1986, *Instrumentalne obserwacje meteorologiczne w Warszawie*. Prz. Geof., t. 33, nr 3.

[4] F. B a y e r, *Die Verbindung der preussischen und russischen Dreiecksketten bei Thorn und Tarnowitz*, Berlin, 1857.

[5] *Rapport fait à M. le directeur de l'Observatoire Central sur les travaux de l'expédition de Bessarabie, entreprise en 1852 pour terminer les operations de la mesure de l'axe du méridien. Comparaisons baromeètriques faites en 1852 pour détereminer la relation entre les baromètres normaux prussiens et le baromètre normal de Poulkovo.*

[6] Jan B a r a n o w s k i, *Oznaczenie długości geograficznej Warszawy względem głównego Obserwatorium Pułkowo, wykonane w 1845 r. za pomocą chronometrów pod kierunkiem O. Struvego*. Biblioteka Warszawska, 1847, t. 1.

Rybka A., Rybka P., 1983, *Historia astronomii w Polsce*. t. 2, Wrocław, Ossolineum.
Wójcik Z., 1988, *Początki nauki o Ziemi w Uniwersytecie Warszawskim*. Prz. Geof., t. 33, nr 3.

Summary

The astronomical observatory of the Warsaw University, opened in 1825, practiced tree directions: astronomical, meteorological and, till 1831, pedagogical. Astronomical, and rather geodetic activity was concentrated mainly on the determination of the geographical position of various localities in the Kingdom of Poland, for survey purposes. The meteorological observations, archivized since 1825, were systematically published in Warsaw periodicals. Observatory's workers collaborated in the triangulation of the Kingdom. In height measurements they used the recently introduced barometric method of height determination. Till 1831 they measured for Polish authorities (Polish Army and Ministry of Finances), later for General Staff in Petersbourg. They participated too in the determination of the length of the arc of meridian from Arctic Ocean to Danube river, sponsored by W. Struve.

PRZEGLĄD GEOFIZYCZNY

Rocznik XXXVIII 1993 Zeszyt 1

Henryk T. MITOSEK

Instytut Geofizyki PAN

INFORMACYJNE KRYTERIUM AKAIKE I JEGO WYKORZYSTANIE W HYDROLOGII (I) DOBÓR TYPU ROZKŁADU PRAWDOPODOBIEŃSTWA

AKAIKE'S INFORMATION CRITERION AND ITS USING IN HYDROLOGY (I) CHOICE OF PROBABILITY DISTRIBUTION

W zastosowaniach hydrometeorologicznych nie jest na ogół możliwe ustalenie na drodze teoretycznej typu rozkładu prawdopodobieństwa, któremu podlega rozpatrywane zjawisko modelowane poprzez zmienną losową. Rozważając zagadnienie doboru rozkładu, obok wniosków wynikających z krzywych częstotliwości, możemy także uwzględnić pewne przesłanki genetyczne, chociaż w bardzo ogólnej postaci. Względy genetyczne wskazują np. na ciągłość zmiennych przepływowych i pozwalają wysnuć wnioski co do charakteru ograniczeń (Kaczmarek, 1970; Mitosek, 1984). Postępowanie związane z doborem funkcji rozkładu ma więc w pewnym stopniu cechy działania subiektywnego. W wielu przypadkach do opisania rozpatrywanego zjawiska można stosować kilka różnych typów funkcji gęstości prawdopodobieństwa. Na przykład, w pracy Cunnane (1989) zestawiono listę rozkładów prawdopodobieństwa zalecanych — w różnych krajach — do użycia jako tzw. rozkłady standardowe przy opisie ekstremalnych opadów i przepływów maksymalnych rocznych. Jednak oszacowanie kwantyli tych rozkładów w skrajnych częściach obszaru zmienności na ogół znacznie się od siebie różnią, natomiast kwantyle rozmieszczone wokół wartości środkowej są do siebie zbliżone. Dlatego założenie co do typu rozkładu stanowi pewną hipotezę roboczą, której zgodność z danymi empirycznymi może być sprawdzona za pomocą testów statystycznych.

Do porównania dwóch różnych funkcji rozkładu prawdopodobieństwa, lecz o tej samej liczbie szacowanych parametrów, można stosować testy oparte na ilorazie

funkcji wiarygodności (Fisz, 1967; Kaczmarek, 1970). Markovič (1965) do porównania różnych typów rozkładów prawdopodobieństwa stosował zmodyfikowany test χ^2. Wypada jednak stwierdzić, że do tej pory brakowało kryterium wartościowania hipotez, co uniemożliwiało dokonanie wyboru typu rozkładu. Wydaje się, że rozwiązanie tego problemu można upatrywać w rozważaniach Akaike (1971, 1973).

Informacyjne kryterium dopasowania modelu statystycznego

Metoda największej wiarygodności (NW) jest standardową metodą statystyczną, która służy do estymacji parametrów rozważanego modelu w postaci funkcji rozkładu prawdopodobieństwa (np. funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa). Dopiero Akaike (1971) zauważył, że metoda NW jest również użyteczna w procedurze identyfikacyjnej, która polega na dopasowaniu przyjętego modelu statystycznego do dostępnego zbioru obserwacji w postaci N elementowej próby losowej: $\langle x\rangle=\langle x_1, x_2, ..., x_i, ..., x_N\rangle$. Przyjmijmy, że obserwacje x_i stanowią elementy ciągu zmiennych losowych $\langle X\rangle=\langle X_1, X_2, ..., X_i, ..., X_N\rangle$, które są niezależne i mają takie same rozkłady prawdopodobieństwa. Przyjmijmy ponadto, że postulowany model stanowi funkcja gęstości rozkładu prawdopodobieństwa $f(x|\underline{\Theta})$ zmiennej losowej X_i z wektorem $\underline{\Theta}$ nieznanych parametrów $\langle\Theta_1, ..., \Theta_j, ..., \Theta_R\rangle$. Metoda NW (np. Kaczmarek, 1970) polega na takim oszacowaniu R parametrów $\hat{\Theta}_j$ wektora $\underline{\Theta}$, aby funkcja wiarygodności

$$L(x_1, x_2, ..., x_N|\underline{\Theta})=\prod_{i=1}^{N} f(x_i|\underline{\Theta}) \tag{1}$$

osiągnęła maksimum. Uzyskany w podany sposób estymator $\hat{\underline{\Theta}}$ wektora parametrów $\underline{\Theta}$ nosi nazwę estymatora NW. Przypomnijmy, że metoda NW daje estymatory asymptotycznie najefektywniejsze (Kaczmarek, 1970). Nie gwarantuje to jednak efektywności tej metody w przypadku małych prób losowych.

Logarytmując przy podstawie naturalnej funkcję wiarygodności (1) i dzieląc ją przez liczebność próby N otrzymuje się (Akaike, 1971)

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} ln\, f(x_i|\underline{\Theta}) \tag{2}$$

co stanowi oszacowanie wielkości

$$K(g,f(.|\underline{\Theta})=\int ln[f(x|\underline{\Theta})]g(x)dx \tag{3}$$

przy czym $g(x)$ oznacza prawdziwą funkcję gęstości rozkładu prawdopodobieństwa obserwowanych wartości. Metoda NW określając oszacowanie $\hat{\underline{\Theta}}$ wektora $\underline{\Theta}$ maksymalizuje wartość funkcji (2) i jednocześnie, chociaż w niejawnej formie, maksymalizuje wartość funkcji (3) lub, co na jedno wychodzi, minimalizuje wartość następującego wyrażenia

$$I(g,f(.|\underline{\Theta}))=\int ln\left(\frac{g(x)}{f(x|\underline{\Theta})}\right)g(x)dx \tag{4}$$

które otrzymano w wyniku odejmowania wyrażenia $K(g,f(.|\underline{\Theta}))$ od $K(g,g)$. Wyrażenie (4), znane pod nazwą *statystycznej ilości informacji Kullbacka* (Kullback, 1959), jest dodatnie, z wyjątkiem przypadku, gdy $f(x|\underline{\Theta})=g(x)$. Wielkość (4) może być uważane za miarę nieprawdopodobieństwa wystąpienia rozkładu próbkowego $g(x)$, gdy prawdziwy jest rozkład $f(x|\underline{\Theta})$. Biorąc pod uwagę rozkład graniczny oszacowań NW i uwzględniając warunki regularności Akaike (1971) wyprowadził *informacyjne kryterium dopasowania* modelu statystycznego (ang. *Akaike's Information Criterion — AIC*)

$$AIC=-2\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} ln\, f(x_i|\underline{\hat{\Theta}})\right)+2R \tag{5}$$

gdzie R jest liczbą szacowanych parametrów rozkładu. W przypadku dopasowywania metodą NW kilku alternatywnych modeli, model o najmniejszej wartości *AIC* jest najlepszy. Gdy dla kilku modeli otrzymuje się taką samą wartość kryterium *AIC*, to najlepszy jest model o najmniejszej liczbie parametrów.

Przykład zastosowania

Przyjmijmy, że przy badaniu przepływów maksymalnych rocznych mogą znaleźć zastosowanie: (a) rozkład Pearsona III typu, (b) logarytmiczno-normalny o dwóch, oraz (c) trzech parametrach i (d) Fishera-Tippetta I typu (Kaczmarek, 1960, 1970). Wymienione rozkłady mają następujące funkcje gęstości:

— rozkład Pearsona III typu

$$f(x)=\frac{\alpha^{\lambda}}{\Gamma(\lambda)}e^{-\alpha(x-\varepsilon)}(x-\varepsilon)^{\lambda-1}, \qquad \varepsilon\leqslant x<+\infty, \tag{6}$$

— rozkład logarytmiczno-normalny o dwóch parametrach

$$f(x)=\frac{1}{x\sigma(2\pi)^{1/2}}exp\left\{-\frac{[ln(x)-\mu]}{2\sigma^2}\right\}, \qquad 0\leqslant x<+\infty, \tag{7}$$

— rozkład logarytmiczno-normalny o trzech parametrach

$$f(x)=\frac{1}{(x-\varepsilon)\sigma(2\pi)^{1/2}}exp\left\{-\frac{[ln(x-\varepsilon)-\mu]}{2\sigma^2}\right\}, \qquad \varepsilon\leqslant x<+\infty, \tag{8}$$

— rozkład Fishera-Tippetta I typu

$$f(x)=\alpha e^{-\alpha(x-u)-e^{-\alpha(x-u)}}, \qquad -\infty<x<+\infty. \tag{9}$$

Parametry rozpatrywanych rozkładów (6)÷(9) szacowano metodą NW, za pomocą stosowanych programów podanych przez K i t e ' a (1988). Następnie dla estymowanych parametrów wyznaczano wartość informacyjnego kryterium dopasowania — *AIC* (5).

Obliczenia wykonano dla 2 prób losowych, które zawierały przepływy maksymalne roczne: Warty w Poznaniu (1826÷1965) oraz St. Mary's River w Stillwater (Kanada) (1915÷1986) (Kite, 1988).

W rezultacie otrzymano następujące oszacowania wartości kryterialnej AIC_P i AIC_S (AIC_P — Poznań, AIC_S — Stillwater) rozważanych rozkładów:

— rozkład Pearsona III typu
$AIC_P = 19{,}66242$; $AIC_S = 18{,}53398$;
— rozkład logarytmiczno-normalny o dwóch parametrach
$AIC_P = 48{,}76079$; $AIC_S = 168{,}05458$;
— rozkład logarytmiczno-normalny o trzech parametrach
$AIC_P = 19{,}65835$; $AIC_S = 18{,}53795$;
— rozkład Fishera-Tippetta I typu
$AIC_P = 15{,}87373$; $AIC_S = 14{,}59163$;

W wyniku porównania wartości kryterialnych *AIC*, które uzyskano w obu rozważanych próbach losowych, stwierdzono, że najlepszy jest rozkład Fishera-Tippetta I typu, a najgorszy rozkład logarytmiczno-normalny o dwóch parametrach. Rozkłady logarytmiczno-normalny o trzech parametrach i Pearsona III typu okazały się niewiele gorsze w sensie rozważanego kryterium od najlepszego rozkładu Fishera-Tippetta I typu.

Wnioski

Przedstawiona procedura doboru funkcji prawdopodobieństwa rozkładu może być także użyteczna dla innych rozkładów prawdopodobieństwa, obejmując również zmienne o rozkładach przekształconych do rozkładu normalnego (Strupczewski, 1967). Omawiane kryterium dotyczy jednak jednowymiarowych zmiennych losowych.

Maszynopis wpłynął do Redakcji 6 X 1992 r.

Literatura

A k a i k e H., 1971, *A new look at the stochastic model identification.* IEEE trans. Automat. Control, AC-19.
A k a i k e H., 1973, *Information theory and an extension of the maximum likelihood principle.* [W:] *2nd International Symposium on Information Theory* (red. B.N. P e t r o v, F. C s a k i), Budapest, Akadémiai Kiadó.
C u n n a n e C., 1989, *Statistical distributions for flood frequency analysis.* Operational Hydrology Report No. 33, WMO — No. 718, Geneva.

Fisz M., 1967, *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna.* Warszawa, PWN.
Kaczmarek Z., 1960, *Przedział ufności jako miara dokładności oszacowania prawdopodobnych przepływów powodziowych.* Wiad. Sł. Hydr. i Met., t. 7, nr 4.
Kaczmarek Z., 1970, *Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii.* Warszawa, WKiŁ.
Kullback S., 1959, *Information theory and statistics.* New York, Wiley.
Kite G. W., 1988, *Frequency and risk analyses in hydrology.* Water Resources Publications, Littleton.
Markovič D. R.,1965, *Probability functions of best fit to distributions of annual precipitation and runoff.* Hydrology Paper, nr 8, Colorado State University, Fort Collins.
Mitosek H. T., 1984, *Stochastyczna struktura przepływu rzecznego.* Warszawa, Wyd. Geologiczne.
Strupczewski W., 1967, *Przekształcenie rozkładów prawdopodobieństwa zmiennych hydrologicznych i meteorologicznych do rozkładu normalnego.* Wiad. Sł. Hydr. i Met., nr 2.

Summary

In the paper, one presents procedure of empirical choice — on the base of the sample — of probability distribution function for considered phenomenon which is modeled by one-dimensional random variable. The choice is realized simultaneously with parameters estimation by maximum likelihood method for the distribution using information criterion which has been introduced by Akaike.

PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ NAUKOWYCH

Sławomir Jerzy GIBOWICZ

Instytut Geofizyki PAN — Warszawa

ZASTOSOWANIE TENSORA MOMENTU SEJSMICZNEGO DO BADANIA MECHANIZMÓW WSTRZĄSÓW GÓRNICZYCH

APPLICATION OF SEISMIC MOMENT TENSOR IN MINING SEISMICITY STUDIES

Badania mechanizmów trzęsień ziemi, prowadzone od dziesiątków lat, wskazują, że w ognisku dominujące są procesy ścinania, opisywane za pomocą podwójnej pary sił. Jednak badania najnowsze dostarczają coraz więcej dowodów na to, że w niektórych przypadkach alternatywne mechanizmy są również możliwe. Najbardziej dobitne przykłady anomalnych mechanizmów ognisk zostały opisane przy badaniach zjawisk sejsmicznych wywołanych eksploatacją górniczą (np. Šileny, 1989; Gibowicz i in., 1990, 1991). Przeglądy wyników badań takich mechanizmów, opartych głównie na rozkładzie pierwszych znaków wychyleń i formie radiacji sejsmicznej, zostały opublikowane wcześniej (Gibowicz, 1990 a, b). W niniejszym przeglądzie przedstawiono wyniki uzyskane za pomocą inwersji tensora momentu sejsmicznego, referowane na międzynarodowym sympozjum *Mining Induced Seismicity*, które odbyło się we wrześniu 1992 r. w Liblicach w Czecho-Słowacji (Gibowicz, w druku).

Tensor momentu sejsmicznego podaje pełny opis równoważnych sił działających w punktowym ognisku sejsmicznym; jedną z nich jest podwójna para sił. Należy podkreślić, że punktowy model ogniska jest w wielu przypadkach poprawny, wówczas gdy skończone rozmiary ogniska są małe w porównaniu z obserwowaną długością fal sejsmicznych. Inwersja tensora momentu sejsmicznego jest co prawda techniką stosowaną od wielu lat w skali telesejsmicznej, ale jej zastosowanie w badaniach zjawisk lokalnych nastąpiło dopiero przed kilku laty.

Skoncentrowane pary sił a tensor momentu sejsmicznego

Pole przemieszczeń $u_i(\mathrm{x},t)$ generowane przez pojedynczą siłę jest równe konwolucji tejże punktowej siły $F(t)$ przez funkcję Greena G_{ij}

$$u_i(\mathrm{x},t) = F(t) * G_{ij}(\mathrm{x},t) \tag{1}$$

gdzie gwiazdka jest powszechnie używanym skrótem na oznaczenie konwolucji, a funkcja Greena jest odpowiedzią ośrodka na impuls jednostkowy w postaci delty Diraca. Pojedyncza siła jest najprostszym modelem źródła sejsmicznego. Jednakże bardziej prawdopodobnym modelem działania sił w ognisku trzęsień ziemi są siły nawzajem równoważące się, takie jak para sił działających jednocześnie w przeciwnych kierunkach z siłą wypadkową równą zeru.

Rozważmy parę sił o równej wielkości, działających wzdłuż dodatnich i ujemnych kierunków osi x_3 w małej odległości ε od siebie w kierunku x_2. Jest to siła $(0,0,F_3)$ działająca w punkcie $(\xi+\varepsilon e_2/2)$ i siła $(0,0,-F_3)$ działająca w punkcie $(\xi-\varepsilon e_2/2)$, gdzie e_2 jest wektorem jednostkowym w kierunku x_2. Przemieszczenie całkowite u_i, wywołane przez obie siły, jest równe sumie przemieszczeń wywołanych przez każdą z nich (np. Pujol, Herrmann, 1989)

$$u_i = \varepsilon F_3 * [G_{i3}(\xi+\varepsilon e_2/2) - G_{i3}(\xi-\varepsilon e_2/2)]/\varepsilon \tag{2}$$

Biorąc pod uwagę granicę u_i przy F_3 dążącym do nieskończoności i ε dążącym do zera w taki sposób, że iloczyn εF_3 pozostaje skończony, otrzymujemy następującą zależność

$$u_i = M_{32} * \frac{\partial G_{i3}}{\partial \xi_2} \tag{3}$$

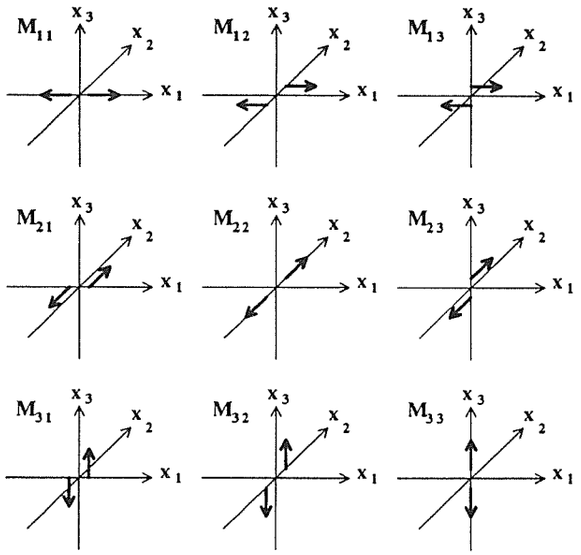
gdzie $M_{32} = \varepsilon F_3$. Jest to znana w mechanice klasycznej para sił z momentem M_{32}, który ma wymiar siły przez długość i może być funkcją czasu.

Istnieje 9 możliwych kombinacji kierunków siły i jej ramienia, przedstawionych na rys. 1, reprezentowanych przez moment sejsmiczny M_{ij} pary sił działających w kierunku x_i z ramionami w kierunku x_j. W przypadku gdy x_i i x_j pokrywają się, para sił jest nazywana dipolem wektorowym lub parą bez momentu. Wszystkie pozostałe pary sił mają niezerowy moment, równoważny skręceniu. Jeśli ogólny system sił reprezentujących źródło sejsmiczne może być wyrażony jako liniowa kombinacja par sił z momentem M_{ij}, wówczas pole przemieszczeń wywołane przez ten system jest sumą przemieszczeń wywołanych przez poszczególne pary sił

$$u_k = M_{ij} * \frac{\partial G_{ki}}{\partial \xi_j} = \acute{M}_{ij} * G_{ki,j} \tag{4}$$

Zbiór 9 wyrazów M_{ij} nazywamy tensorem momentu sejsmicznego źródła, reprezentowanym przez macierz M o składowych M_{ij}.

Tak więc pole przemieszczeń u_k, wywołane w punkcie x w czasie t przez rozkład sił równoważnych o gęstości f_i w objętości źródła V, można wyrazić



Rys. 1. Prezentacja dziewięciu możliwych par sił równoważnych M_{ij} działających w ognisku sejsmicznym
Wskaźniki i i j pokazują kierunki działania sił oraz kierunki ramion par sił

Fig. 1. Representation of the nine possible couples M_{ij} acting in the seismic source
The subindexes i and j denote the directions of the force and the arm of the couple, respectively

$$u_k(\mathrm{x},t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_V G_{ki}(\mathrm{x},t;\mathrm{r},t') f_i(\mathrm{r},t')\,\mathrm{d}V\,\mathrm{d}t' \tag{5}$$

gdzie $G_{ki}(\mathrm{x},t;\mathrm{r},t')$ są funkcjami Greena opisującymi efekty propagacji fal sejsmicznych między źródłem (r,t') i odbiornikiem (x,t). Funkcje Greena możemy rozwinąć w szereg Taylora (Stump, Johnson, 1977) w punkcie $\mathrm{r}=\xi$

$$G_{ki}(\mathrm{x},t;\mathrm{r},t') = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!}(r_{j_1}-\xi_{j_1})\ldots(r_{j_n}-\xi_{j_n})\; G_{ki,j_1\ldots j_n}(\mathrm{x},t;\xi,t') \tag{6}$$

gdzie przecinek między wskaźnikami oznacza pochodne cząstkowe w stosunku do współrzędnych po przecinku. Wprowadzając tensor momentu siły jako funkcję czasu

$$M_{ij_1\ldots j_n}(\xi,t') = \int_V (r_{j_1}-\xi_{j_1})\ldots(r_{j_n}-\xi_{j_n})\; f_i(\mathrm{r},t')\,\mathrm{d}V \tag{7}$$

można opisać pole przemieszczeń jako sumę szeregu wyrazów (np. Stump, Johnson, 1977; Jost, Herrmann, 1989)

$$u_k(\mathrm{x},t) = \sum_{n=1} \frac{1}{n!} G_{ki,j_1\ldots j_n}(\mathrm{x},t;\xi,0) * M_{i,j_1\ldots j_n}(\xi,t) \tag{8}$$

gdzie $*$ oznacza dekonwolucję w czasie.

Jeśli rozmiary źródła są małe w porównaniu do obserwowanych długości fal sejsmicznych, wówczas możemy uwzględnić tylko pierwszy wyraz we wzorze (8), a pole przemieszczeń wyrazi się

$$u_k(\mathrm{x},t) = G_{ki,j}(\mathrm{x},t;0,0) * M_{i,j}(0,t) \tag{9}$$

przy $\xi = 0$. Zakładając, że wszystkie składowe tensora momentu sejsmicznego zależą w jednakowy sposób od funkcji czasu $s(t)$ — przypadek zwany synchronicznym źródłem (Silver, Jordan, 1982) — pole przemieszczeń może być zapisane

$$u_k(\mathrm{x},t) = M_{ij}[G_{ki,j} * s(t)] \tag{10}$$

gdzie funkcja $s(t)$ jest często zwana funkcją źródła. Tak więc pole przemieszczeń u_k jest funkcją liniową składowych tensora momentu oraz wyrazów w nawiasach kwadratowych. Jeśli funkcja źródła jest funkcją Diraca, wówczas jedynym wyrazem w nawiasach kwadratowych pozostaje $G_{ki,j}$ opisujący 9 ogólnych par sił pokazanych na rys. 1.

Tensor momentu sejsmicznego M drugiego rzędu, opisujący ogólne źródło dipolowe, ma 9 składowych M_{ij} i może być przedstawiony w postaci macierzy o wymiarach 3×3. Tensor ten może być zapisany w postaci (Ben-Menahem, Sing, 1981)

$$\begin{aligned}
\mathrm{M} &= M_{ij} e_i e_j = \\
&= \frac{1}{3}(M_{11}+M_{22}+M_{33})(e_1e_1+e_2e_2+e_3e_3) + \frac{1}{3}(2M_{11}-M_{22}-M_{33})\,e_1e_1 + \\
&+ \frac{1}{3}(2M_{22}-M_{33}-M_{11})\,e_2e_2 + \frac{1}{3}(2M_{33}-M_{11}-M_{22})\,e_3e_3 + \\
&+ \frac{1}{2}(M_{32}+M_{23})(e_3e_2+e_2e_3) + \frac{1}{2}(M_{32}-M_{23})(e_3e_2-e_2e_3) + \\
&+ \frac{1}{2}(M_{13}+M_{31})(e_1e_3+e_3e_1) + \frac{1}{2}(M_{13}-M_{31})(e_1e_3-e_3e_1) + \\
&+ \frac{1}{2}(M_{21}+M_{12})(e_2e_1+e_1e_2) + \frac{1}{2}(M_{21}-M_{12})(e_2e_1-e_1e_2)
\end{aligned} \tag{11}$$

gdzie e_i i e_j są wektorami jednostkowymi wzdłuż osi x_i i x_j. Pierwszy wyraz po prawej stronie równania (11) opisuje centrum kompresji, a kolejne wyrazy opisują 3 dipole wzdłuż osi współrzędnych, 3 podwójne pary sił oraz 3 skręcenia dookoła osi współrzędnych. Centrum kompresji pochodzi od izotropowej części tensora momentu, odpowiadającej zmianom objętościowym w źródle. Pozostałe 9 układów sił tworzą dewiatoryczną część tensora momentu, która z kolei może być poddana dalszej dekompozycji na wiele sposobów.

Zasada zachowania momentu obrotowego równoważnych sił w źródle prowadzi do symetrii tensora momentu sejsmicznego (Gilbert, 1970). Jeśli tensor momentu jest symetryczny, wówczas $M_{ij} = M_{ji}$ i skręcenia w równaniu (11) znikają. Wartości własne m_1, m_2, i m_3 symetrycznego tensora drugiego rzędu są liczbami rzeczywistymi, a jego wektory własne a_1, a_2 i a_3 są nawzajem prostopadłe. Tak więc z równania (11) wynika, że tensor momentu może być rozłożony na część izotropową oraz na 3 dipole wektorowe (Jost, Herrmann, 1989)

$$\mathrm{M} = \frac{1}{3}(m_1+m_2+m_3)\,\mathrm{I} + \frac{1}{3}(2m_1-m_2-m_3)\,\mathrm{a_1a_1} + \frac{1}{3}(2m_2-m_3-m_1)\,\mathrm{a_2a_2} + \\ + \frac{1}{3}(2m_3-m_1-m_2)\,\mathrm{a_3a_3} \tag{12}$$

gdzie $\mathrm{I}=\delta_{ij}$ jest macierzą Kroneckera.

Równanie (12) można napisać z kolei w postaci

$$\mathrm{M} = \frac{1}{3}(m_1+m_2+m_3)\,\mathrm{I} + \frac{1}{3}m_1(2\mathrm{a_1a_1} - \mathrm{a_2a_2} - \mathrm{a_3a_3}) + \\ + \frac{1}{3}m_2(2\mathrm{a_2a_2} - \mathrm{a_3a_3} - \mathrm{a_1a_1}) + \frac{1}{3}m_3(2\mathrm{a_3a_3} - \mathrm{a_1a_1} - \mathrm{a_2a_2}) \tag{13}$$

gdzie $2\mathrm{a_1a_1}-\mathrm{a_2a_2}-\mathrm{a_3a_3}$ przedstawia dipol kompresyjny o wartości 2 działający w kierunku wektora własnego $\mathrm{a_1}$ oraz 2 dipole dylatacyjne o jednostkowej wartości działające w kierunkach osi $\mathrm{a_2}$ i $\mathrm{a_3}$. Ten typ źródła zwany jest liniowym skompensowanym dipolem wektorowym (LSDW). Tak więc uogólnione źródło dipolowe z symetrycznym tensorem momentu jest równoważne centrum kompresji oraz 3 liniowym skompensowanym dipolom wektorowym nawzajem prostopadłym. Symetryczny tensor momentu można również rozłożyć na część izotropową oraz na 3 podwójne pary sił.

Dekompozycja tensora momentu na część izotropową, na liniowy skompensowany dipol wektorowy i na podwójną parę sił wydaje się najbardziej interesująca do opisu źródła sejsmicznego (np. Fitch i in., 1980). Przyjmując, że czysto dewiatoryczne wartości własne m_i^d tensora momentu

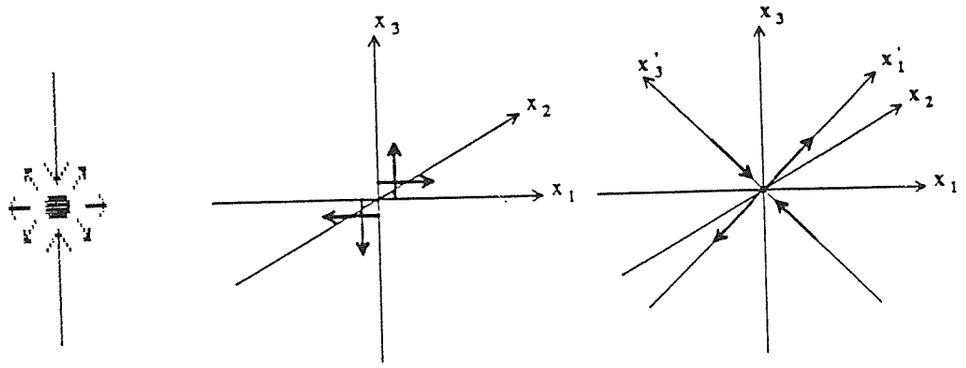
$$m_i^d = m_i - \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} \tag{14}$$

są takie, że $|m_3^d| \geqslant |m_2^d| \geqslant |m_1^d|$, otrzymamy dekompozycję (Jost, Herrmann, 1989)

$$\mathrm{M} = \frac{1}{3}(m_1+m_2+m_3)\,\mathrm{I} + m_3^d F(2\mathrm{a_3a_3} - \mathrm{a_2a_2} - \mathrm{a_1a_1}) + \\ + m_3^d(1-2F)(\mathrm{a_3a_3} - \mathrm{a_2a_2}) \tag{15}$$

gdzie $F = -m_1^d / m_3^d$.

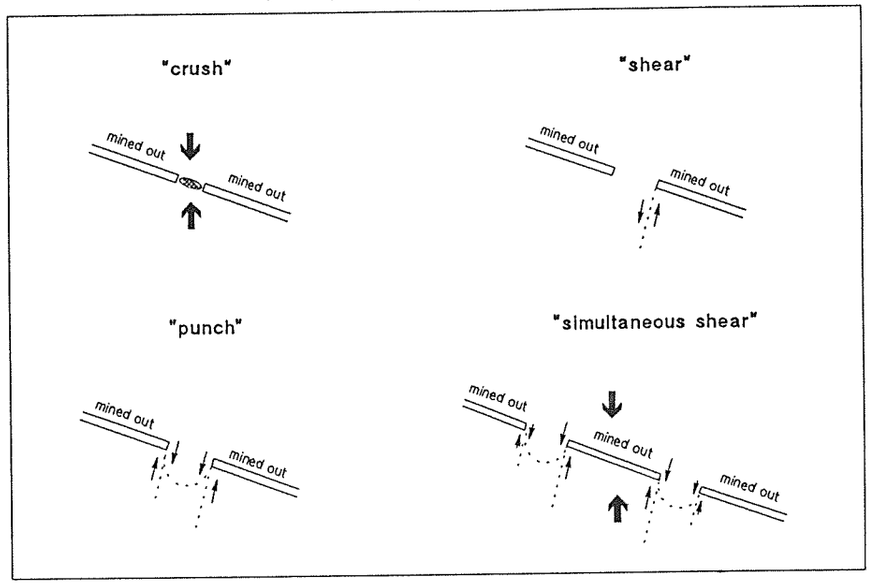
Taka dekompozycja jest również bardzo interesująca do badania mechanizmu ognisk wstrząsów górniczych. Liniowy skompensowany dipol wektorowy, podwójna para sił oraz układ podwójnych dipoli, generujących taką samą radiację jak podwójna para sił, są pokazane na rys. 2. Liniowy skompensowany dipol wektorowy, odpowiadający w przybliżeniu jednoosiowemu ściskaniu lub rozciąganiu, był rozważany jako model źródła dla nagłych przemian fazowych w ogniskach głębokich trzęsień ziemi (Knopoff, Randall, 1970), dla rozrywów skał związanych z rozciąganiem w obecności płynów pod wysokim ciśnieniem (Julian, Sipkin, 1985; Foulger, 1988) oraz dla źródeł kompleksowych (np. Frohlich i in., 1989). Źródło sejsmiczne reprezentowane przez LSDW może wyjaśnić jeden z mechanizmów, obserwowanych *in situ*, wstrząsów górniczych w obszarze filarów ochronnych w głębokich kopalniach złota w Południowej Afryce, opisanych przez L e n h a r d t a



Rys. 2. Liniowy skompensowany dipol wektorowy, odpowiadający jednoosiowemu ściskaniu, oraz podwójna para sił i układ podwójnych dipoli generujących radiację identyczną do radiacji podwójnej pary sił

Fig. 2. The compensated linear vector dipole (CLVD), corresponding to a uniaxial compression, and the double couple and the corresponding double dipole system that gives the same radiation pattern as the double couple

i Hagana (1990). Inne opisane mechanizmy można by wyjaśnić za pomocą źródła złożonego z LSDW oraz podwójnej pary sił. Cztery możliwe mechanizmy zjawisk sejsmicznych związanych z filarami ochronnymi w kopalni złota Western Deep Levels w Południowej Afryce są przedstawione na rys. 3.



Rys. 3. Cztery możliwe mechanizmy ognisk wstrząsów górniczych związanych z filarami ochronnymi w kopalni złota Western Deep Levels w Południowej Afryce (według Lenhardta i Hagana, 1990)

Fig. 3. Four possible mechanisms of pillar-associated seismic events at the Western Deep Levels gold mine, South Africa (from Lenhardt and Hagan, 1990)

Inwersja tensora momentu sejsmicznego

Obliczanie składowych tensora momentu sejsmicznego z obserwacji pola przemieszczeń nazywamy jego inwersją. Znanych jest wiele metod inwersji w domenie czasu i w domenie częstotliwości, przy zastosowaniu różnych typów obserwacji. Inwersja tensora momentu w domenie czasu może być oparta na sformułowaniu opisanym równaniem (10) (np. Fitch i in, 1980). Jeżeli funkcja źródła nie może być określona lub założenie o źródle synchronicznym jest nie do przyjęcia, wówczas inwersję należy wykonać w domenie częstotliwości (np. Stump, Johnson, 1977; Kanamori, Given, 1981). Pole przemieszczeń w domenie częstotliwości, odpowiadające sformułowaniu (10), można wyrazić

$$u_k(\mathrm{x},t)=M_{ij}(f)\,G_{ki,j}(f) \tag{16}$$

dla każdej częstotliwości z osobna. Oba podejścia (10) i (16) prowadzą do inwersji liniowej w domenie czasu lub częstotliwości, dla której znane są szybkie algorytmy obliczeniowe (np. Press i in., 1990).

Oba układy równań (10) i (16) mogą być zapisane w postaci macierzowej

$$\mathrm{u}=\mathrm{G}\,\mathrm{m} \tag{17}$$

W domenie czasu wektor u składa się z n próbkowanych wartości przemieszczenia gruntu zapisanego na różnych stacjach, G jest macierzą o wymiarach $n\times 6$ zawierającą funkcje Greena, a wektor $\mathrm{m}=(M_{11}, M_{12}, M_{22}, M_{13}, M_{23}, M_{33})$ zawiera 6 niewiadomych składowych tensora momentu. W domenie częstotliwości równania (17) rozpisuje się osobno dla każdej częstotliwości. Szczegółowy opis postępowania dla regionalnych i lokalnych obserwacji został podany przez Oncescu (1986). Zastosowanie inwersji tensora momentu do badania mikrowstrząsów opisane zostało przez O'Connella i Johnsona (1988).

Główną trudnością w inwersji tensora momentu sejsmicznego jest poprawne obliczenie funkcji Greena dla ośrodków o złożonej budowie geologicznej. Funkcja Greena ogólnie jest różna przy różnych składowych przemieszczeń i ma różne wartości w odniesieniu do poszczególnych stacji. Najprostszym podejściem w domenie czasu jest bezpośrednie zastosowanie opisu radiacji źródła dla fal *P*, *SV* lub *SH* (np. Fitch i in., 1980; De Natale i in., 1987). Bardziej rygorystyczne podejście jest oparte na metodzie propagatorów macierzowych Thomsona-Haskella, stosowane w domenie częstotliwości.

Wyrażenie tensora momentu sejsmicznego za pomocą jego wartości własnych dokonuje sie poprzez rotację tegoż tensora z układu współrzędnych stosowanych w inwersji do układu współrzędnych związanych z osiami głównymi tensora. Takie podejście jest bardzo wygodne w zastosowaniach. Teraz tensor momentu może być zapisany w prostej postaci diagonalnej

$$M_{ij}=m_i\,\delta_{ij} \tag{18}$$

gdzie m_i są wartościami własnymi M, a delta Kroneckera $\delta_{ij}=1$ przy $i=j$ i $\delta_{ij}=0$ przy $i\neq j$. Źródła sejsmiczne bez zmian objętościowych można otrzymać poprzez narzucenie warunku, że ślad tensora momentu tr M jest równy zeru

$$\text{tr M} = m_1 + m_2 + m_3 = 0 \tag{19}$$

lub w postaci bardziej ogólnej

$$\text{tr M} = M_{11} + M_{22} + M_{33} = 0 \tag{20}$$

Suma składowych diagonalnych tensora momentu sejsmicznego podzielona przez 3 jest miarą zmiany objętości w źródle.

Można łatwo pokazać, że tensor momentu opisujący podwójną parę sił musi mieć wyznacznik det M równy zeru

$$\det \text{M} = m_1 m_2 m_3 = 0 \tag{21}$$

lub w postaci ogólnej

$$\det \text{M} = M_{11}M_{22}M_{33} + 2M_{12}M_{23}M_{13} - M_{11}M_{23}^2 - M_{22}M_{13}^2 - M_{33}M_{12}^2 = 0 \tag{22}$$

Tak więc znikanie wyznacznika det M i śladu tr M tensora momentu jest warunkiem koniecznym i dostatecznym dla źródła opisywanego podwójną parą sił, reprezentującą procesy czystego ścinania w ognisku. Warunek znikania śladu tensora jest warunkiem liniowym. Natomiast warunek znikania wyznacznika tensora jest warunkiem nieliniowym. W takim przypadku do rozwiązania systemu równań (17) stosuje się metodę mnożników Lagrange'a (np. Oncescu, 1986). System równań rozwiązywany jest iteracyjnie do momentu, gdy wyznacznik det M i ślad tr M tensora zbiegną się do zera.

Po obliczeniu tensora momentu sejsmicznego w postaci ogólnej można oszacować jego odstępstwo od modelu podwójnej pary sił za pomocą np. zależności (Dziewonski i in., 1981).

$$\varepsilon = \frac{|m^d|_{\min}}{|m^d|_{\max}} \tag{23}$$

gdzie $|m^d|_{\min}$ jest wartością najmniejszą, a $|m^d|_{\max}$ jest wartością największą w sensie bezwzględnym dewiatorycznych wartości własnych tensora. Wartość tego stosunku może zmieniać się od 0 dla źródła modelowanego podwójną parą sił do 0,5 dla liniowego skompensowanego dipola wektorowego. Znane są również inne metody służące do identyfikacji anomalnych składowych tensora momentu sejsmicznego (np. Hudson i in., 1989; Riedesal, Jordan, 1989; Vasco, 1990).

Mechanizmy ogniska wstrząsów górniczych

Inwersja tensora momentu sejsmicznego jest stosowana od wielu lat do badania mechanizmów ognisk dalekich trzęsień ziemi. Natomiast jej zastosowanie do badania wstrząsów lokalnych datuje się dopiero od kilku lat. Wynika to z trudności związanych z wyznaczaniem funkcji Greena dla złożonych struktur geologicznych. Saikia i Herrmann (1985, 1986) stosowali tę metodę do interpretacji amplitud fal objętościowych rejestrowanych na małych odległościach od kilku wstrząsów, które wystąpiły w 1982 r. w Kanadzie i w Stanach Zjednoczonych. Oncescu (1986) zastosował prostą i efektywną metodę wyznaczania momentu tensora sejsmicznego dla 95

słabych trzęsień ziemi w rejonie Vrancea w Rumunii, zapisanych przez lokalną sieć sejsmiczną. De Natale i inni (1987) przeprowadzili inwersję tensora momentu sejsmicznego 10 słabych wstrząsów wulkanicznych w Campi Flegrei we Włoszech. O'Connell i Johnson (1988) wykonali inwersję tensora momentu sejsmicznego w domenie częstotliwości 3 mikrotrzęsień ziemi z obszaru geotermalnego w Kalifornii. Ostatnio Ebel i Bonjer (1990) badali za pomocą tensora momentu mechanizmy słabych trzęsień ziemi w południowo-wschodnich Niemczech, a Koch (1991 a, b) zastosował dwie metody, w domenie czasu i w domenie częstotliwości, inwersji tensora momentu sejsmicznego dla wysokoczęstotliwościowych obserwacji otrzymywanych w pobliżu źródła. Wreszcie Ohtsu (1991) zastosował analizę tensora momentu do emisji akustycznej zarejestrowanej w czasie eksperymentów *in situ*, dotyczących niszczenia skał metodami hydraulicznymi.

Dotychczas opublikowano jedynie kilka prac odnoszących się do badania za pomocą tensora momentu sejsmicznego mechanizmów wstrząsów górniczych. Spottiswoode (1984) badał mechanizm ogniska 11 wstrząsów w kopalni złota Blyvooruitzicht w Południowej Afryce. Stwierdził on, że obserwacje były zgodne z zerową zmianą objętości w ognisku i zostały zinterpretowane jako odpowiadające procesom czystego ścinania na płaszczyznach rozciągających się równolegle do postępujących prac górniczych.

Sato i Fujii (1989) badali mechanizm dużego wyrzutu gazu w kopalni węgla Sunagawa w Japonii, który wydarzył się w styczniu 1986 r. Zastosowali oni oryginalną metodę określania tensora momentu w domenie częstotliwości dla 15 zjawisk sejsmicznych zarejestrowanych przez podziemną sieć sejsmiczną. Spośród tych 15 zjawisk, 12 wstrząsów można było zinterpretować za pomocą podwójnej pary sił, opisującej procesy ścinania. W przeciwieństwie do tych wyników, inwersja tensora momentu sejsmicznego wykonana na podstawie obserwacji z dwóch słabych wstrząsów w kopalni węgla Horonai w Japonii wykazała, że były to zjawiska nie dające się opisać podwójną parą sił (Fujii, Sato, 1990). Wstrząsy te były związane z eksploatacją ścianową i wystąpiły w pobliżu przodka.

Zintegrowany System Sejsmiczny (*Integrated Seismic System* ISS), wprowadzony ostatnio do sieci sejsmicznych w Welkom w Południowej Afryce (Mendecki, 1990; Mendecki i in., 1990), zawiera oprogramowanie do obliczania tensora momentu sejsmicznego wyższego rzędu. Pozwala to na określenie dodatkowych własności źródła sejsmicznego, takich jak kierunek propagacji rozrywu, prędkość rozrywu, czas trwania wstrząsu i rozmiary ogniska. Dane te jednak nie są systematycznie publikowane.

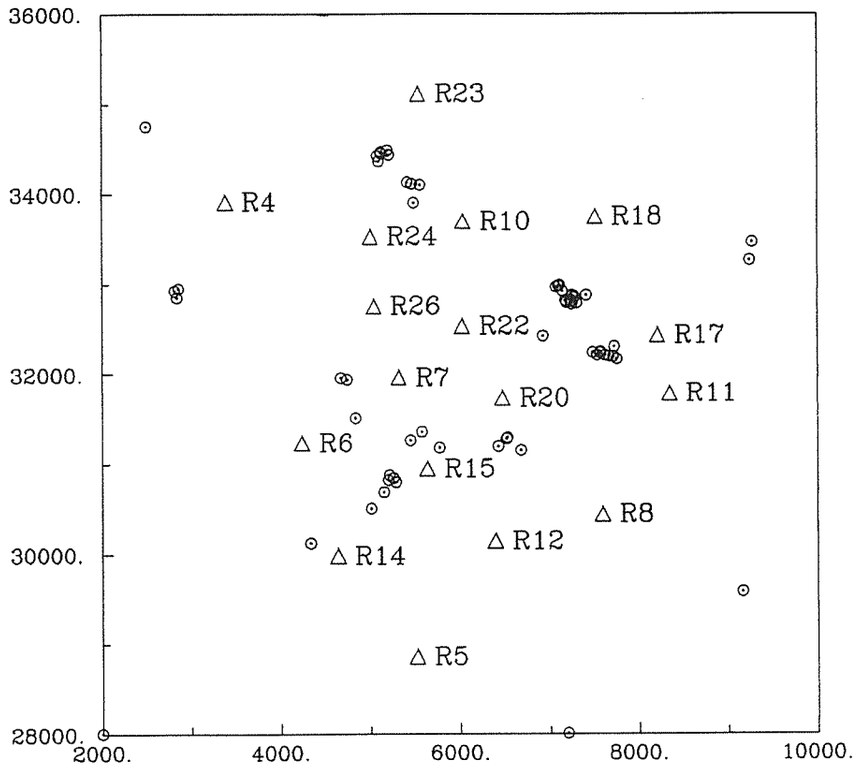
Inwersje standardowego tensora momentu drugiego rzędu są również prowadzone w ramach systemu ISS w Welkom w Południowej Afryce, ale wyniki badań nie są powszechnie dostępne. Jako dobry przykład do ilustracji rodzaju informacji uzyskiwanej z analizy tensora momentu sejsmicznego przytoczymy tutaj wyniki inwersji tensora momentu trzech wstrząsów górniczych z ogniskiem objętościowym, które wystąpiły 9 IV 1991 r. w obrębie dajki w jednej z kopalń złota w prowincji Free Orange State. Wstrząs główny o magnitudzie $M=2{,}1$ wystąpił o godzinie 07^h09^m, a dwa wstrząsy następcze o identycznej magnitudzie $M=1{,}8$ wystąpiły o godzinie 09^h24^m i 12^h27^m. Wstrząs główny wywołał znaczne, ale wysoce zlokalizowane, zniszczenia w kopalni, a dajka „eksplodowała". Inwersja tensora

momentu sejsmicznego oraz jego dekompozycja na część izotropową (ISO), liniowy skompensowany dipol wektorowy (LSDW) oraz podwójną parę sił (PPS) dały następujące wyniki (przedstawione w postaci diagonalnej w układzie współrzędnych zdefiniowanym przez wektory własne tensora)

tensor momentu ISO LSDW PPS

$$\begin{bmatrix} 0{,}14 & 0{,}00 & 0{,}00 \\ 0{,}00 & -0{,}06 & 0{,}00 \\ 0{,}00 & 0{,}00 & 1{,}41 \end{bmatrix} = 0{,}494 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + 0{,}355 \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} + 0{,}202 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Składowa izotropowa — odpowiadająca ekspansji — ma tutaj wartość największą, LSDW — odpowiadający jednoosiowemu ściskaniu — ma wartość pośrednią, a podwójna para sił — opisująca ścinanie — ma wartość najmniejszą.



Rys. 4. Rozkład poziomy wybranych wstrząsów górniczych (zaznaczonych kółkami) występujących w latach 1990 i 1991 oraz stacji sejsmicznych (zaznaczonych trójkątami) wykorzystanych do inwersji tensora momentu sejsmicznego w kopalni miedzi Rudna (według Wiejacza, 1991)

Fig. 4. Horizontal distribution of selected seismic events (marked by circles) which occurred in 1990 and 1991 and seismic stations (marked by triangles) used for the moment tensor inversion at Rudna copper mine, Poland (from Wiejacz, 1991)

Oba wstrząsy następcze wystąpiły również w obrębie dajki. Zniszczenia w kopalni wywołane pierwszym wstrząsem następczym były bardziej rozległe, ale o mniejszej intensywności aniżeli zniszczenia wywołane wstrząsem głównym. Inwersja tensora momentu sejsmicznego wykazuje w tym przypadku większą składową ścinania aniżeli zmiany objętości, które tym razem odpowiadają kontrakcji

$$\underset{\text{tensor momentu}}{\begin{bmatrix} -0{,}44 & 0{,}00 & 0{,}00 \\ 0{,}00 & -1{,}13 & 0{,}00 \\ 0{,}00 & 0{,}00 & 0{,}73 \end{bmatrix}} = -0{,}281 \underset{\text{ISO}}{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}} + 0{,}162 \underset{\text{LSDW}}{\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}} + 0{,}685 \underset{\text{PPS}}{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}$$

Wstrząs trzeci nie wywołał widocznych zniszczeń w kopalni, a jego tensor momentu sejsmicznego charakteryzuje się jeszcze większą podwójną parą sił i mniejszą zmianą objętości, odpowiadającą ponownie ekspansji

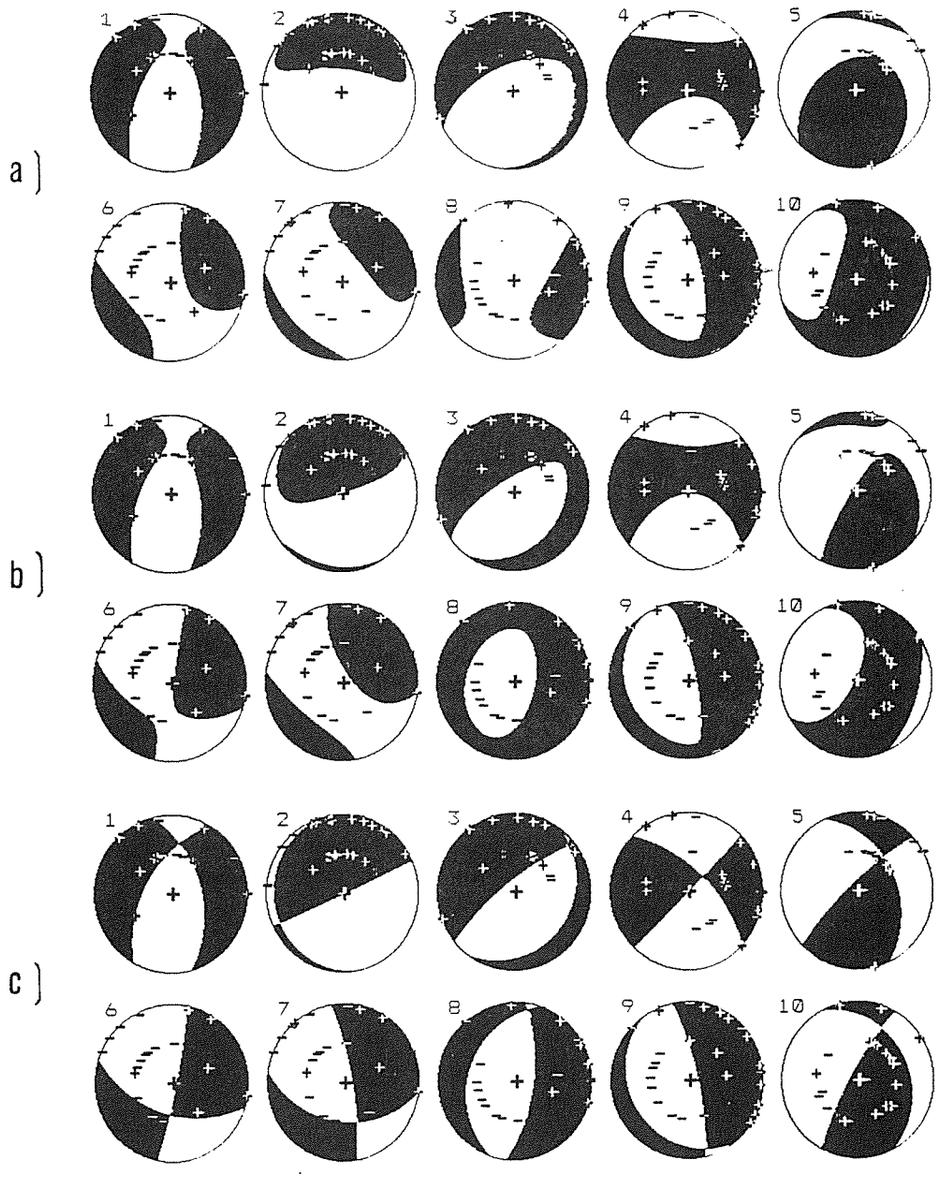
$$\underset{\text{tensor momentu}}{\begin{bmatrix} 0{,}15 & 0{,}00 & 0{,}00 \\ 0{,}00 & -0{,}66 & 0{,}00 \\ 0{,}00 & 0{,}00 & 1{,}21 \end{bmatrix}} = 0{,}241 \underset{\text{ISO}}{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}} + 0{,}095 \underset{\text{LSDW}}{\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}} + 0{,}809 \underset{\text{PPS}}{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}$$

W Polsce badania tensora momentu sejsmicznego wstrząsów górniczych rozpoczął W i e j a c z (1991, 1992). Zbadał on mechanizm ogniska 60 słabych wstrząsów, które wystąpiły w latach 1990 i 1991 w kopalni Rudna w Lubińskim Zagłębiu Miedziowym. Przeprowadził on inwersję tensora momentu w domenie czasu na podstawie amplitud i znaków pierwszych wejść fali *P* i amplitud fali *SV*, zarejestrowanych przez podziemną sieć sejsmiczną, składającą się z ponad 20 sejsmometrów pionowych.

Rozkład poziomy wstrząsów górniczych i stacji sejsmicznych w kopalni Rudna, wybranych przez Wiejacza (1991) do obliczenia tensora momentu sejsmicznego, przedstawione są na rys. 4. Otrzymał on 3 rodzaje rozwiązań dla każdego wstrząsu: rozwiązanie ogólne dla 6 niezależnych składowych tensora, rozwiązanie ograniczone bez zmiany objętości i rozwiązanie dla podwójnej pary sił. Przykłady takich rozwiązań dla 10 wybranych wstrząsów pokazane są na rys. 5. Na ogół rozwiązania oparte na pewnych i dobrze rozłożonych, w stosunku do źródła, obserwacjach wykazują dominujące składowe ścinania, aczkolwiek czasami składowa izotropowa (odpowiadająca zarówno ekspansji, jak i kontrakcji) osiąga wartość rzędu 25% całego mechanizmu. Składowa LSDW we wszystkich przypadkach odpowiada ściskaniu i jest zazwyczaj większa od składowej izotropowej.

Przeprowadzone przez Wiejacza (1991) testy numeryczne wskazują, że jest rzeczą bardzo trudną wykrycie składowych tensora momentu sejsmicznego odpowiadających procesom nieścinającym w ognisku w sytuacji, gdy są one stosunkowo słabe, a dominującym mechanizmem ogniska jest podwójna para sił.

Kolejny przypadek zastosowania inwersji tensora momentu sejsmicznego do badania mechanizmu rozrywu słabych zjawisk sejsmicznych wywołanych pracami



Rys. 5. Linie nodalne otrzymane za pomocą inwersji tensora momentu sejsmicznego 10 wybranych wstrząsów, które wystąpiły w 1991 r. w kopalni Rudna (zastosowano projekcję równopowierzchniową dolnej półkuli ogniskowej)

Części zaczernione przedstawiają obszary kompresyjne (pojedyncze obserwacje zaznaczone znakiem +), a części nie zaczernione odpowiadają obszarom dylatacyjnym (obserwacje zaznaczone znakiem −) fali *P*. Podane są trzy rozwiązania dla każdego wstrząsu: (a) ogólne dla sześciu składowych tensora momentu

górniczymi został ostatnio opisany przez Feigniera i Younga (1992). Badali oni 33 mikrowstrząsy wywołane wierceniem tunelu na głębokości 420 m w granicie tarczy kanadyjskiej w podziemnym laboratorium badawczym w Pinawa w Manitobie. Na podstawie inwersji tensora momentu sejsmicznego obliczyli oni stosunek składowych izotropowych do składowych dewiatorycznych i w ten sposób znaleźli źródła wykazujące zmiany objętości, o charakterze zarówno eksplozywnym jak i implozywnym. Co więcej, położenie wstrząsów o mechaniźmie wykazującym występowanie składowych ekspansji korelowało się z pęknięciami górotworu obserwowanymi w suficie tunelu. Feignier i Young (1992) znaleźli również wstrząsy o mechaniźmie czysto dewiatorycznym. Nie przeprowadzili oni jednak dekompozycji tensora dewiatorycznego, np. na LSDW i podwójną parę sił. Tak więc wstrząsy o mechaniźmie czystego ścinania nie mogły być wykryte.

McGarr (1992 a, b) w swoich najnowszych doniesieniach opisał trzy wstrząsy górnicze o magnitudzie od 2,1 do 3,4, które wystąpiły w 1988 r. w jednej z kopalń złota w Południowej Afryce. Wstrząsy te charakteryzowały się tensorem momentu sejsmicznego o znacznych składowych implozywnych. W kopalni, gdzie te wstrząsy wystąpiły, poziome pokłady kruszcu złota są przecięte dużymi uskokami charakteryzującymi się znacznymi przemieszczeniami poziomymi rzędu setek metrów. Prace górnicze prowadzone w sąsiedztwie takich uskoków stymulują powstawanie sejsmiczności, która powoduje uaktywnienie się uskoków oraz zaciskanie wyrobisk. Te efekty z kolei prowadzą do zmian objętości w ognisku zjawisk sejsmicznych, wyrażające się składową izotropową tensora momentu sejsmicznego.

Wnioski

Inwersja tensora sejsmicznego, jeżeli źródło sejsmiczne może być rozważane jako punktowe, jest prawdopodobnie najlepszym podejściem do badania mechanizmów ognisk zjawisk sejsmicznych wywołanych eksploatacją górniczą. Istnienie wyrobisk i pustek poeksploatacyjnych w kopalniach stwarza korzystne warunki do generacji wstrząsów o mechanizmach odbiegających od procesów czystego ścinania, charakteryzujących ogniska naturalnych trzęsień ziemi.

Najbardziej interesującą dekompozycją tensora momentu sejsmicznego przy badaniu ognisk wstrząsów górniczych, szczególnie przy badaniu sejsmiczności

sejsmicznego, (b) ograniczone dla tensora momentu odpowiadającego ogniskom bez zmiany objętości oraz (c) ograniczone dla tensora momentu odpowiadającego podwójnej parze sił (według Wiejacza, 1991)

Fig. 5. Nodal lines deduced from moment tensor inversion for 10 selected seismic events which occurred in 1991 at Rudna copper mine, Poland (a lower hemisphere equal-area projection is used)
Shaded areas represent the regions of up motion for *P* waves (observations marked by +) and unfilled areas represent the regions of down motion (observations marked by −). Three solutions are shown for each event: (a) for a general six-free-component moment tensor, (b) for a constrained moment tensor corresponding to sources with no wolume changes, and (c) for a constrained moment tensor corresponding to double-couple sources (from Wiejacz, 1991)

związanej z filarami ochronnymi, wydaje się dekompozycja tensora na część izotropową, odpowiadającą zmianom objętościowym w ognisku, na liniowy skompensowany dipol wektorowy, odpowiadający ściskaniu jednoosiowemu, oraz na podwójną parę sił, opisującą procesy ścinania.

Należy również odnotować, że składowe nieścinające tensora momentu sejsmicznego są bardzo trudne do wykrycia, jeżeli procesy ścinania są dominującymi procesami w ognisku. W takim przypadku inwersja tensora momentu prowadzi do klasycznych rozwiązań, odpowiadających mechanizmowi ścinania opisywanemu podwójną parą sił.

Maszynopis wpłynął do Redakcji 26 X 1992 r.

Literatura

Ben-Menahem A., Singh S. J., 1981, *Seismic waves and sources*. New York, Springer-Verlag.

De Natale G., Iannaccone G., Martini M., Zollo A., 1987, *Seismic sources and attenaution properties at the Campi Flegrei volcanic area*. Pure Appl. Geophys., t. 125, 883–917.

Dziewonski A. M., Chou T. A., Woodhouse J. H., 1981 *Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity*. J. Geophys. Res., t. 86, 2825–2852.

Ebel J. E., Bonjer K. P., 1990, *Moment tensor inversion of small earthquakes in southwestern Germany for the fault plane solution*. Geophys. J. Int., t. 101, 133–146.

Feignier B., Young R. P., 1992, *Moment tensor inversion of induced microseismic events: Evidence of non-shear failures in the* $-4 < M < -2$ *moment magnitude range*. Geophys. Res. Lett., t. 19, 1503–1506.

Fitch T., McCowan D. W., Shields M. W., 1980, *Estimation of seismic moment tensor from teleseismic body wave data with application to intraplate and mantle earthquakes*. J. Geophys. Res., t. 85, 3817–3828.

Foulger G. R., 1988, *Hengill triple junction, SW Iceland. 2. Anomalous earthquake focal mechanisms and implications for process within the geothermal reservoir and at accretionary plate boundaries*. J. Geophys. Res., t. 93, 13507–13523.

Frohlich C., Riedesel M. A., Apperson K. D., 1989, *Note concerning possible mechanisms for non-double-couple earthquake sources*. Geophys. Res. Lett., t. 16, 523–526.

Fujii Y., Sato K., 1990, *Difference in seismic moment tensors between microseismic events associated with a gas outburst and those induced by longwall mining activity*. [W:] *Rockbursts and seismicity in mines*, red. C. Fairhurst, Rotterdam, Balkema.

Gibowicz S. J., 1990a, *Keynote lecture: The mechanism of seismic events induced by mining — A review*. [W:] *Rockbursts and seismicity in mines*, red. C. Fairhurst, Rotterdam, Balkema.

Gibowicz S. J., 1990b, *Seismicity induced by mining*. Adv. Geophys., t. 32, 1–74.

Gibowicz S. J., w druku, *Seismic moment tensor and its application in mining seismicity studies: A review*. Acta Mont.

Gibowicz S. J., Harjes H. P., Schäfer M., 1990, *Source parameters of seismic events at Heinrich Robert mine, Ruhr basin, Federal Republic of Germany: Evidence for nondouble-couple events*. Bull. Seism. Soc. Am., t. 80, 88–109.

Gibowicz S. J., Young R. P., Talebi S., Rawlence D. J., 1991, *Source parameters of seismic events at the Underground Research Laboratory in Manitoba, Canada: Scaling relations for the events with moment magnitude smaller than* -2. Bull. Seism. Soc. Am., t. 81, 1157–1182.

Gilbert F., 1970, *Excitation of the normal modes of the earth by earthquake sources*. Geophys. J. R. Astr. Soc., t. 22, 223–226.

Hudson J. A., Pearce R. G., Rogers R. M., 1989, *Source type plot for inversion of the moment tensor*. J. Geophys. Res., t. 94, 765–774.

Jost M. L., Herrmann R. B., 1989, *A student's guide to and review of moment tensors*. Seism. Res. Lett., t. 60, 37–57.

Julian B. R., Sipkin S. A., 1985, *Earthquake processes in the Long Valley caldera area, California*. J. Geophys. Res., t. 90, 11155–11169.

Kanamori H., Given J. W., 1981, *Use of long-period surface waves for rapid determination of earthquake source-parameters*. Phys. Earth Planet. Interiors, t. 27, 8–31.

Knopoff L., Randall M. J., 1970, *The compensated linear-vector dipole: A possible mechanism for deep earthquakes*. J. Geophys. Res., t. 75, 1957–1963.

Koch K., 1991a, *Moment tensor inversion of local earthquake data — I. Investigation of the method and its numerical stability with model calculations*. Geophys. J. Int., t. 106, 305–319.

Koch K., 1991b, *Moment tensor inversion of local earthquake data — II. Application to aftershocks of the May 1980 Mammoth Lakes earthquakes*. Geophys. J. Int., t. 106, 321–332.

Lenhardt W. A., Hagan T. O., 1990, *Observations and possible mechanisms of pillar-associated seismicity at great depth*. [W:] *Technical challenges in deep level mining*, Johannesburg, South Afric. Inst. Min. Metal.

McGarr A., 1992a, *An implosive component in the seismic moment tensor of a mining-induced tremor*. Geophys. Res. Lett., t. 19, 1579–1582.

McGarr A., 1992b, *Seismic moment tensors with well-defined implosional components* (*abstract*). Workshop on Induced Seismicity, Santa Fé, New Mexico, June 10, 1992.

Mendecki A. J., 1990, *The Integrated Seismic System* (*ISS*). Seminar on Monitoring and Safety in Civil and Mining Engineering, Nancy, France, June 1990.

Mendecki A. J., Van Aswegen G., Brown J. N. R., Hewlett P., 1990, *The Welkom seismological network*. [w:] *Rockbursts and seismicity in mines*, red. C. Fairhurst, Rotterdam, Balkema.

O'Connell D. R. H., Johnson L. R., 1988 *Second-order moment tensors of microearthquakes at The Geysers geothermal field, California*. Bull. Seism. Soc. Am., t. 78, 1674–1692.

Ohtsu M., 1991, *Simplified moment tensor analysis and unified decomposition of acoustic emission source: Application to in situ hydrofracturing test*. J. Geophys. Res., t. 96, 6211–6222.

Oncescu M. C., 1986, *Relative seismic moment tensor determination for Vrancea intermediate depth earthquakes*. Pure Appl. Geophys., t. 124, 931–940.

Press W. H., Flannery B. P., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., 1990, *Numerical recipes: The art of scientific computing*. New York, Cambridge University Press.

Pujol J., Herrmann R. B., 1990, *A student's guide to point sources in homogeneous media*. Seismol. Res. Lett., t. 61, 209–224.

Riedesel M. A., Jordan T. H., 1989, *Display and assessment of seismic moment tensors*. Bull. Seism. Soc. Am., t. 79, 85–100.

Saikia C. K., Herrmann R. B., 1985, *Application of waveform modeling to determine focal mechanisms of four 1982 Miramichi aftershocks*. Bull. Seism. Soc. Am., t. 75, 1021–1040.

Saikia C. K., Herrmann R. B., 1986, *Moment-tensor solutions for three 1982 Arkansas swarm earthquakes by waveform modeling*. Bull. Seism. Soc. Am., t. 76, 709–723.

Sato K., Fujii Y., 1989, *Source mechanism of a large scale gas outburst at Sunagawa coal mine in Japan*. Pure Appl. Geophys., t. 129, 325–343.

Šileny J., 1989, *The mechanism of small mining tremors from amplitude inversion*. Pure Appl. Geophys., t. 129, 309–324.

Silver P. G., Jordan T. H., 1982, *Optimal estimation of scalar seismic moment*. Geophys. J. R. Astr. Soc., t. 70, 755–787.

Spottiswoode S. M., 1984, *Source mechanisms of mine tremors at Blyvooruitzicht gold mine*. [W:] *Rockbursts and seismicity in mines*, red. N. C. Gay i E. H. Wainwright, Symp. Ser. No. 6, Johannesburg, South Afr. Inst. Min. Metal.

Stump B. W., Johnson L. R., 1977, *The determination of source properties by the linear inversion of seismograms*. Bull. Seism. Soc. Am., t. 67, 1489–1502.

Vasco D. W., 1990, *Moment-tensor invariants: Searching for non-double-couple earthquakes*. Bull. Seism. Soc. Am., t. 80, 354–371.

Wiejacz P., 1991, *Badania mechanizmów wstrząsów górniczych przy wykorzystaniu tensora momentu sejsmicznego*. Praca doktorska, Instytut Geofizyki PAN, Warszawa.

Wiejacz P., 1992, *Calculation of seismic moment tensor for mine tremors from the Legnica-Glogów copper basin*. Acta Geophys. Pol., t. 40, 103–122.

Summary

There is growing evidence that alternative earthquake mechanisms other than shear failure are possible. The most prominent cases of anomalous focal mechanisms are reported from mine seismicity studies. The moment tensor approach is in this respect the most general one, since moment tensors describe completely the equivalent forces of a seismic point source. A moment tensor can be decomposed into an isotropic part corresponding to a volumetric change, a compensated linear vector dipole corresponding to a uniaxial compression, and a double couple corresponding to a shear failure. Such a decomposition seems to be the most interesting one for source studies of seismic events induced by mining.

Moment tensor inversions on a global scale have been routinely performed for several years, but the application of this technique to local events is a relatively recent innovation. A few works only have been published that are related to the use of moment tensor inversion in studies of seismic events induced by mining. This approach is mostly used in South Africa and Poland, and to a limited extend in Japan and Canada.

PRZEGLĄD GEOFIZYCZNY

Rocznik XXXVIII 1993 Zeszyt 1

Teresa BARANOWSKA

Instytut Geodezji i Kartografii — Warszawa

SZACUNKOWA OCENA STANU CZYSTOŚCI WÓD JEZIORNYCH NA PODSTAWIE ZDJĘĆ Z SATELITÓW SERII LANDSAT

THE ESTIMATION OF LAKE WATER QUALITY USING LANDSAT SATELLITE IMAGES

W badaniach środowiska wodnego były wykorzystywane już pierwsze zdjęcia z satelity ERTS-1. Zdjęcia te posłużyły przede wszystkim do oceny przezroczystości wody, zawartości chlorofilu **a** (fitoplanktonu), zawartości zawiesiny ogólnej, a obiektem badań poszczególnych naukowców było najczęściej jedno jezioro. Natomiast w Stanach Zjednoczonych już wtedy przeprowadzono kompleksowe badania kilkunastu jezior, których celem była ocena stanu trofii wód jeziornych (Rogers, 1977). Biorąc pod uwagę, iż prace te podjęto w początkowym okresie wykorzystywania zdjęć satelitarnych, gdy dopiero zdobywano doświadczenia i opracowywano pierwsze metody korekcji i przetwarzania zdjęć satelitarnych, uzyskane wyniki należy ocenić jako wielce interesujące.

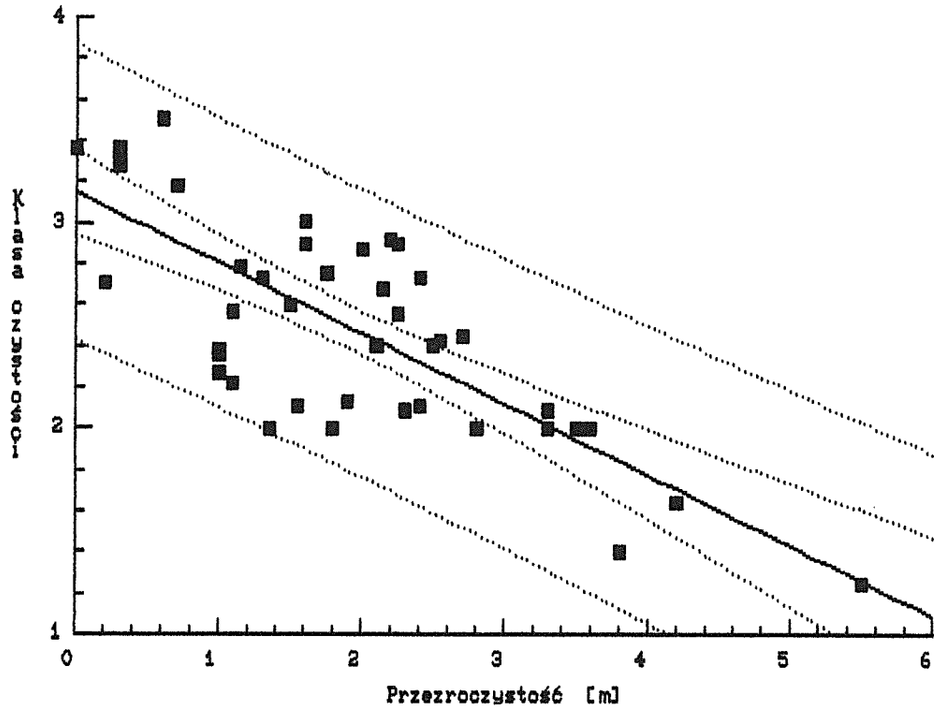
Dopiero na początku lat osiemdziesiątych zostały opublikowane wyniki prac naukowców szwedzkich, których celem było skartowanie przezroczystości wód jeziornych w Szwecji (Lindell, 1981; Lindell, Rosengren, 1981). Wyniki tych badań stanowiły podstawę opracowania metody oceny przezroczystości wód na podstawie zdjęć satelitarnych, jako elementu składowego monitoringu wód jeziornych w tym kraju.

Natomiast w 1991 r. w Instytucie Geodezji i Kartografii w Warszawie zakończono badania nad wykorzystaniem zdjęć z satelitów serii Landsat do wstępnej oceny stanu czystości wód jeziornych i szacunkowej oceny stanu trofii tych wód (Baranowska, 1992). Niniejszy artykuł jest zwięzłym przedstawieniem wyników tych badań.

Podstawą wykorzystania zdjęć satelitarnych w badaniach środowiska wodnego jest fakt, iż fototon wody na zdjęciu satelitarnym jest zależny przede wszystkim od

przezroczystości wody, wszelkie inne informacje są na ogół wtórne. Jeśli elementem decydującym o przezroczystości wody jest zawartość chlorofilu, to wtedy na podstawie obrazu możemy wnioskować właśnie o zawartości chlorofilu. Jeśli dominują zawiesiny nieorganiczne, to wtedy obraz jest skorelowany z zawartością tych zawiesin. Uogólniając to stwierdzenie można powiedzieć, iż na podstawie zdjęcia satelitarnego można wnioskować o tych parametrach środowiska wodnego, które znajdują odbicie w przezroczystości wody.

Ponieważ zachodzi istotna zależność pomiędzy przezroczystością wody pomierzoną latem a wynikową klasą stanu czystości tego jeziora (rys. 1)[1], określoną



Rys. 1. Zależność wynikowej klasy czystości jezior od wartości letniej przezroczystości wód
$r = -0{,}77$, $n = 42$; błąd oceny klasy: $\pm 0{,}3$ jednostek

Fig. 1. The relationship between the resultant water quality class of the lakes and the water transparency measured in the summertime
$r = -0.77$, $n = 42$; the error of the water quality class estimation: ± 0.3 unit

zgodnie z obowiązującymi przepisami na podstawie pomiarów kilkunastu parametrów wskaźnikowych (Kudelska i in., 1984), istnieje podstawa do wykorzystania informacji o przezroczystości wody — pozyskanych ze zdjęcia satelitarnego — do wstępnej oceny klasy czystości wód.

[1] Obliczenia wykonano na podstawie danych zebranych i opublikowanych przez Instytut Kształtowania Środowiska (Cydzik i in., 1982; Cydzik, Soszka, 1988).

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono również, że w przypadku pomiarów letnich zachodzi istotna korelacja pomiędzy zawartością fosforu całkowitego a przezroczystością wody (rys. 2)[2]. Ponieważ zawartość fosforu całkowitego jest podstawowym wskaźnikiem oceny stanu trofii, wykorzystanie zależności pomiędzy obrazem wody na zdjęciu satelitarnym a zawartością fosforu całkowitego jako funkcji przezroczystości wody daje możliwość szacowania zawartości fosforu całkowitego na podstawie obrazu wody nawet w tych przypadkach, gdy zawartość fosforu nie została pomierzona w sposób bezpośredni.

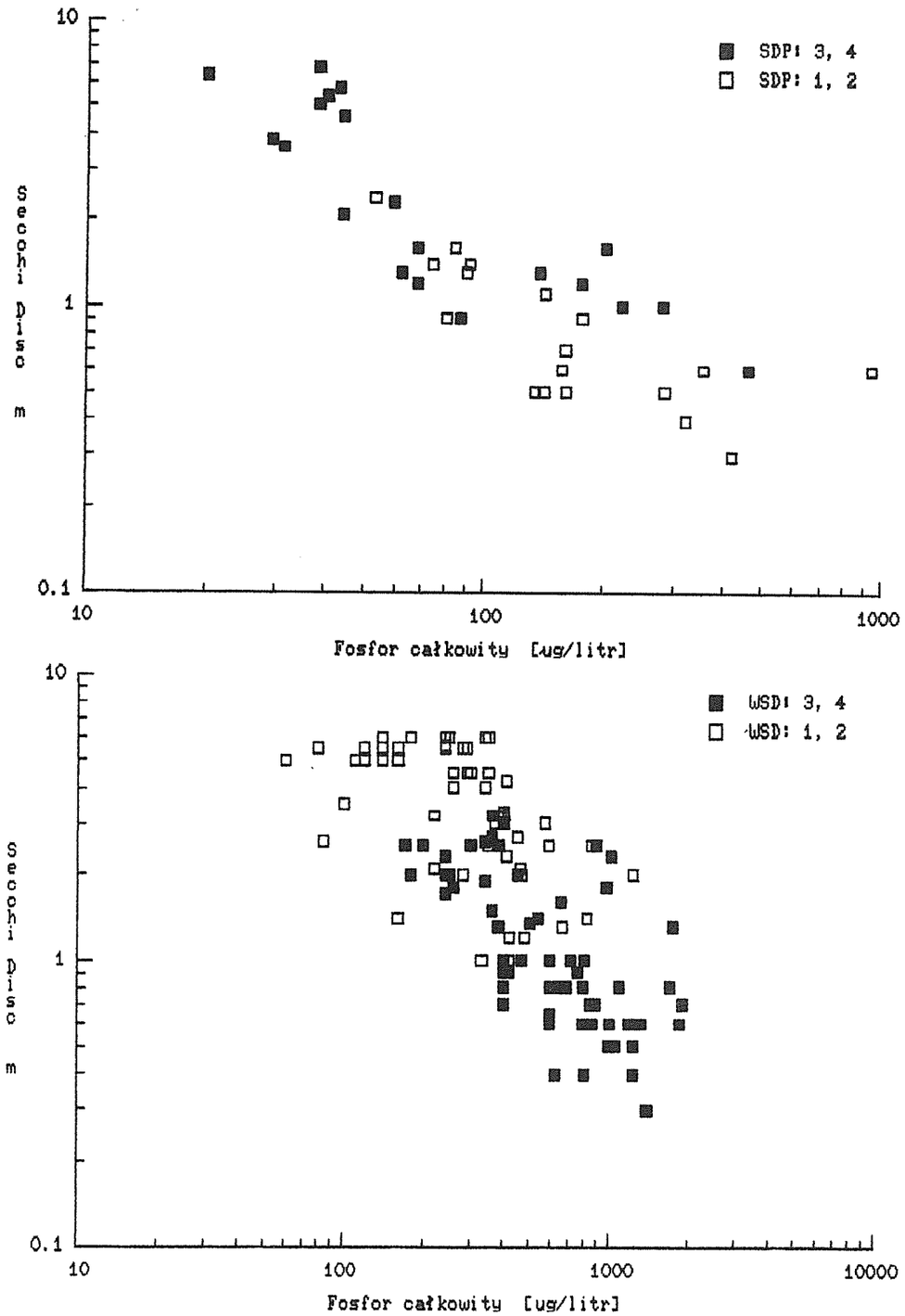
Obraz wody jest zarejestrowany na źródłowym zdjęciu satelitarnym za pomocą niewielkiej liczby fototonów w porównaniu z zakresem, w jakim są rejestrowane inne obiekty powierzchni Ziemi. W związku ze stosunkowo niewielką zdolnością rozdzielczą tonów szarości przez oko ludzkie, to zróżnicowanie obrazu wody na źródłowym zdjęciu satelitarnym nie jest zauważalne w sposób bezpośredni. Niezbędne jest zwiększenie kontrastów obrazu w zakresie przypadającym na obraz wody na zdjęciu satelitarnym, a więc niezbędne jest odpowiednie przetworzenie obrazu.

Ważnym czynnikiem wpływającym na obraz wody zarejestrowany na zdjęciu satelitarnym jest oświetlenie, w tym zarówno kąt padania promieni słonecznych, jak również czystość atmosfery. Oba te czynniki wpływają na wielkość promieniowania padającego na powierzchnię wody i na jakość obrazu wody na zdjęciu satelitarnym. Uwzględnienie zmienności tych czynników, zależnych od terminu rejestracji satelitarnej, musi być również brane pod uwagę w procesie przetwarzania źródłowych zdjęć satelitarnych. Istotą opracowanej i przedstawionej tu metody przetwarzania zdjęć satelitarnych jest właśnie uzyskanie pełnej porównywalności obrazu wody zarejestrowanego w różnych terminach, z różnych satelitów serii Landsat, za pomocą różnych skanerów, zarówno typu MSS (*Multispectral Scanner System*), jak i TM (*Thematic Mapper*). Dzięki zastosowaniu tej metody uzyskuje się możliwość określenia zależności obrazu satelitarnego wody od różnych parametrów jej jakości, takich jak np. przezroczystość, wskaźniki stanu trofii lub klasa czystości, przy wykorzystaniu uniwersalnych modeli matematycznych, tzn. niezależnych od terminu zobrazowania czy też typu urządzenia rejestrującego obraz. Z chwilą określenia tych zależności, a więc stworzenia odpowiednich modeli empirycznych, nie są już właściwie konieczne pomiary przezroczystości wody dla każdego z przetwarzanych zdjęć. Wyniki takich pomiarów są wykorzystywane jedynie do skontrolowania poprawności przetworzeń.

Opracowana metoda przetwarzania zdjęć satelitarnych, mająca na celu uzyskanie bezpośredniej porównywalności obrazu wody, niezależnie od terminu rejestracji satelitarnej i rodzaju skanera, obejmuje następujące etapy:

— rekalibracja radiometryczna, polegająca na przejściu ze względnych jednostek numerycznych poziomu szarości ($0 \div 255$), w których jest zapisany obraz satelitarny i które są porównywalne wyłącznie w obrębie jednej sceny, w odniesieniu do tego

[2] Obliczenia wykonano na podstawie pomiarów prowadzonych przez Instytut Ekologii PAN (Kajak, Zdanowski, 1983) — rys. 2a oraz na podstawie danych zebranych i opublikowanych przez Instytut Kształtowania Środowiska (Cydzik i in., 1982) — rys. 2b.


SDP: 3, 4
SDP: 1, 2
Secchi disc m
10
1
0.1
10
100
1000
Fosfor całkowity [ug/litr]
WSD: 3, 4
WSD: 1, 2
Secchi disc m
10
1
0.1
10
100
1000
10000
Fosfor całkowity [ug/litr]

samego kanału spektralnego danego satelity, na jednostki spektralnej luminancji energetycznej;

— obliczenie dwukierunkowych współczynników odbicia, obejmującego odbicie zarówno od powierzchi Ziemi, jak też od egzosfery, tzn. najwyższej warstwy atmosfery, a dające w efekcie znormalizowanie zdjęć ze względu na natężenie oświetlenia, obejmujące również uwzględnienie zmiennych kątów padania promieniowania słonecznego;

— obliczenie współrzędnych trójchromatycznych i wyeliminowanie wpływu różnic zmętnienia atmosfery w poszczególnych terminach rejestracji satelitarnej, przy czym współrzędne trójchromatyczne są obliczane według wzoru

$$CHRn = \frac{255 * DIRn}{DIR1 + DIR2 + DIR3} \tag{1}$$

gdzie: *CHRn* — współrzędna trójchromatyczna *n*-ta, wyrażona w jednostkach poziomów szarości (obrazowa), przy czym *n* określa, który obraz spektralny (*DIRn*) był dzielony przez sumę 3 wykorzystanych obrazów: *DIRn* — dwukierunkowy współczynnik odbicia w kanale spektralnym *n*, wyrażony w poziomach szarości;

— klasyfikacja progowa obrazu wody według wyznaczonych empirycznie zależności przetworzonego obrazu wody od wybranych własności środowiska wodnego, np. od przezroczystości wody.

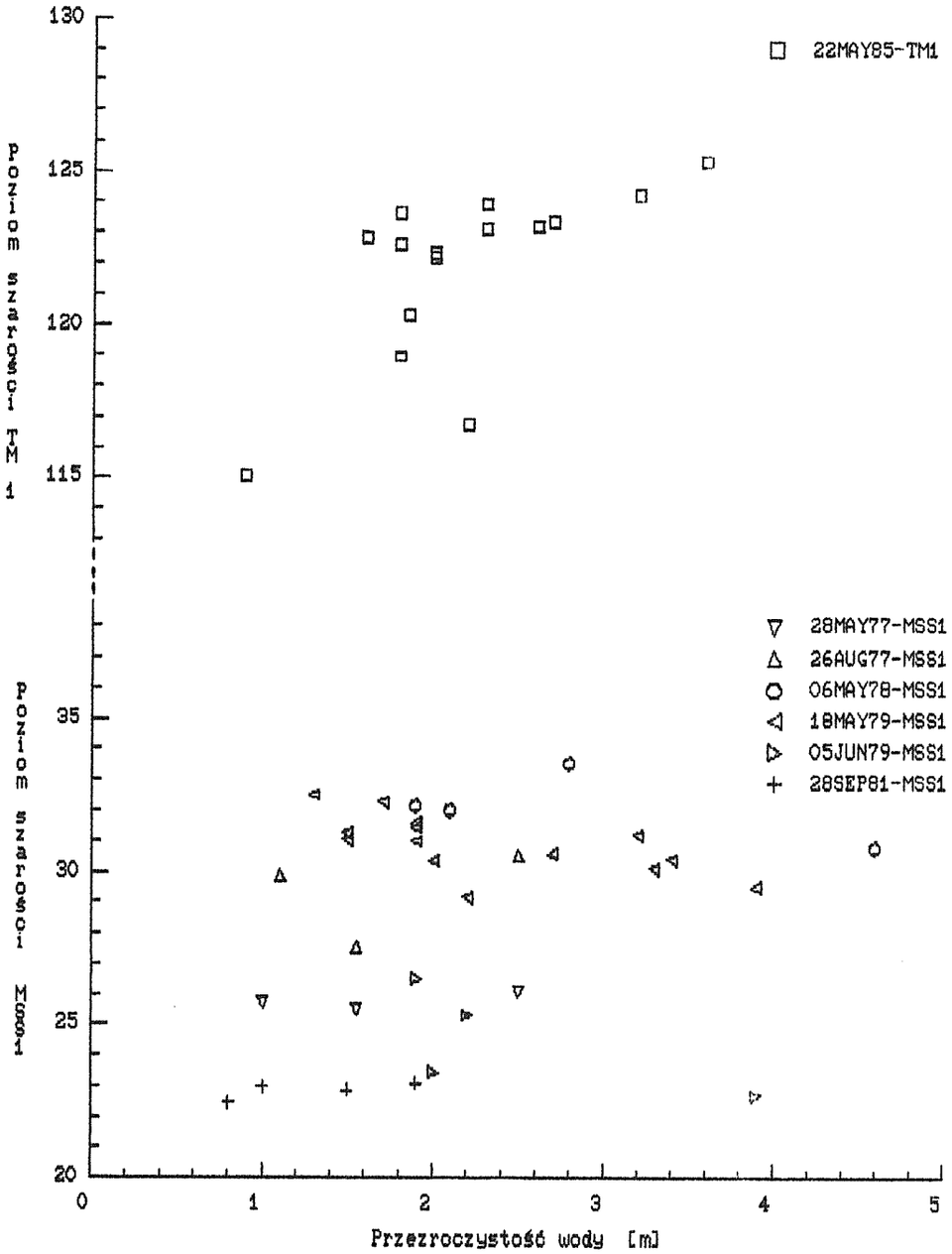
W prezentowanej metodzie przetworzenia zdjęć satelitarnych są wykorzystywane 3 zakresy spektralne, a zakres będący rejestracją promieniowania elektromagnetycznego w podczerwieni fotograficznej jest wykorzystywany do jednoznacznego wydzielenia granicy między wodą a lądem (tab. 1).

Należy tu przypomnieć, że kanały oznaczone jako MSS-1, MSS-2, MSS-3, MSS-4 odpowiadają kanałom oznaczonym w przypadku pierwszych satelitów serii Landsat jako MSS-4, MSS-5, MSS-6, MSS-7. Do oceny przezroczystości wody są wykorzystywane kanały: MSS-1, MSS-2, MSS-3 oraz TM-1, TM-2, TM-3.

Biorąc pod uwagę długość fali rejestrowanego promieniowania elektromagnetycznego, za najbardziej zbliżone do siebie kanały obu typów skanerów należałoby uznać kanały MSS-1 i TM-2 oraz MSS-2 i TM-3. Wtedy jako trzecią parę zakresów ekwiwalentnych należałoby przyjąć kanały MSS-3 i TM-4. Zakres spektralny kanału TM-4 jest jednakże szerszy niż w kanale MSS-3 i jego górna granica wynosi 0,90 μm. Jest to już promieniowanie o bardzo małym, praktycznie zerowym zróżnicowaniu współczynnika odbicia promieniowania przy różnych ilościach materiału zawiesinowego (przezroczystości wody). Jednocześnie jest to już zakres silnego pochłaniania

Rys. 2. Zależność między logarytmami przezroczystości wody (*SD*) i zawartości fosforu całkowitego (*TP*) a) jezior dimiktycznych (*SDP*: 3, 4) i polimiktycznych (*SDP*: 1, 2); $r = -0{,}85$, $n = 40$; b) jezior o różnym stopniu stratyfikacji wód (*WSD*); $r = -0{,}73$, $n = 121$

Fig. 2. The relationships between the logarithm values of water transparency and total phosphorus content (*TP*)
a) for dimictic (*SDP*: 3, 4) and polimictic (*SDP*: 1, 2) lakes $r = -0.85$, $n = 40$; b) for lakes with different water stratification degree (*WSD*); $r = -0.73$, $n = 121$



Rys. 3. Zależność obrazu satelitarnego wody zarejestrowanego na źródłowych zdjęciach satelitarnych MSS–1 i TM–1 od jej przezroczystości w różnych terminach rejestracji satelitarnej

Fig. 3. The relationships between the images of water recorded on raw satellite scenes MSS–1 and TM–1 and the water transparency for the different dates of the satellite image aquisition

Tabela 1. Zakresy spektralne wykorzystywane do wyznaczania zależności między obrazem wody zarejestrowanym z satelitów serii Landsat a przezroczystością wody

Table 1. The spectral channels used for calculating the relationships between the images of water recorded on the Landsat scenes and water transparency

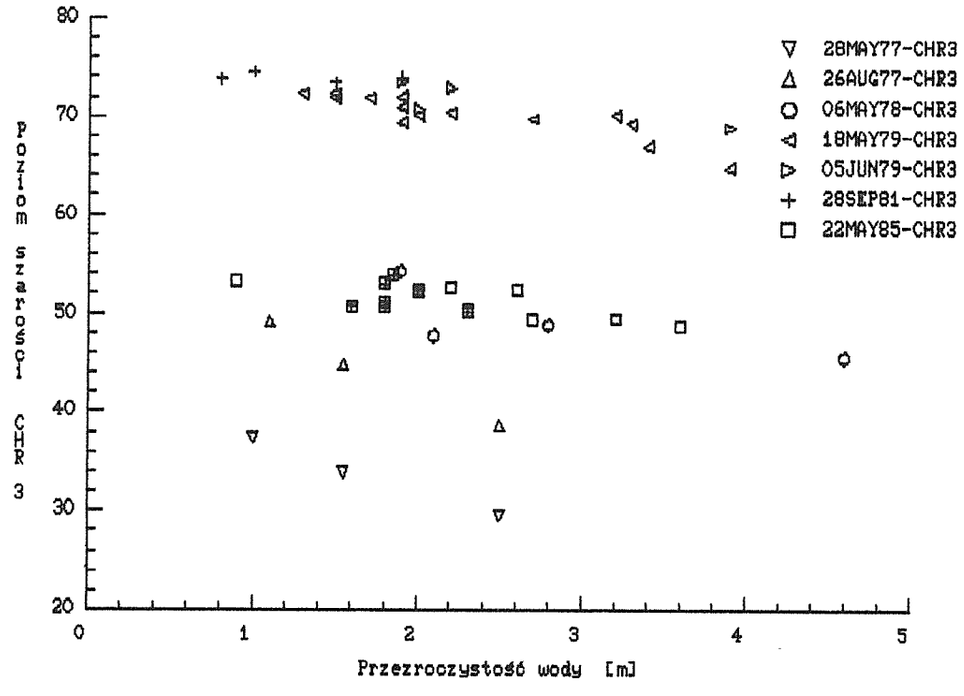
Numer kanału Channel number	MSS μm	TM μm
1	0,50÷0,60	0,45÷0,52
2	0,60÷0,70	0,53÷0,61
3	0,70÷0,80	0,63÷0,69
4	0,80÷1,10	0,78÷0,90

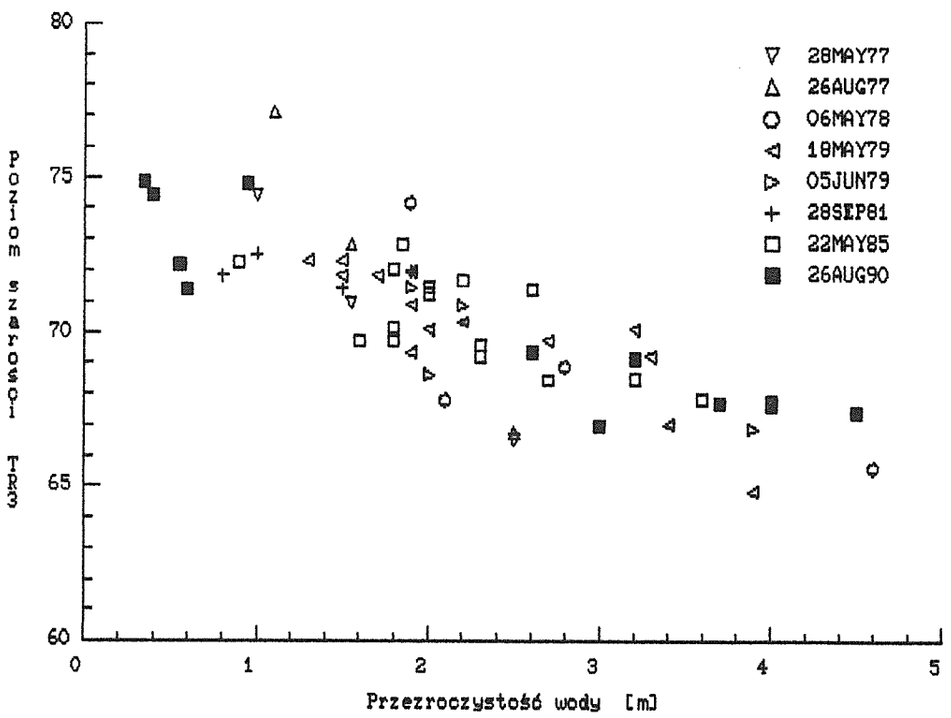
promieniowania w przypowierzchniowych warstwach wody. W świetle tych dwóch faktów zdjęcia zarejestrowane w kanale TM-4 nie są przydatne do analizy obrazu wody. Z drugiej strony o wielkości współczynnika odbicia decyduje przede wszystkim przezroczystość wody, a w mniejszym stopniu długość odbitego promieniowania, szczególnie w przypadku stosunkowo wąskich zakresów spektralnych. W związku z tym można przyjąć ekwiwalentność obrazów wody zarejestrowanych w kanałach MSS-1 i TM-1, MSS-2 i TM-2, MSS-3 i TM-3.

Wspomnieć należy także o tym, iż skanery MSS i TM różną się również rozdzielczością geometryczną. W przypadku skanera MSS rozdzielczość geometryczna (wielkość piksela) wynosi 56 m (wzdłuż linii) × 79 m (w kierunku ruchu satelity), a skanera TM 30 m × 30 m. Ta wyższa rozdzielczość skanera TM umożliwia już zaobserwowanie zjawisk niewidocznych jeszcze na zdjęciu ze skanera MSS, a dotyczących np. sposobu mieszania się wód o różnych własnościach spektralnych. Ta odmienna geometryczna zdolność rozdzielcza obu skanerów nie stwarza jednak przeszkód w zastosowaniu jednakowej metody przetworzeń w odniesieniu do zarejestrowanych przez nie obrazów.

Do wyznaczenia empirycznego modelu zależności matematycznej przetworzonego obrazu wody na zdjęciach satelitarnych od przezroczystości wody wybrano region Wielkich Jezior Mazurskich (zdjęcia satelitarne zarejestrowane w 7 terminach w latach 1977–1985), uzupełniając zebrane dane wynikami pomiarów przezroczystości wody na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim (1 termin wykonania zdjęć satelitarnych — sierpień 1990). Ogółem dysponowano wynikami 59 pomiarów przezroczystości wody w 28 jeziorach w 8 terminach (tab. 2).

W celu zilustrowania efektu rekalibracji i normalizacji zdjęć satelitarnych wykonanych w różnych terminach przedstawiono na rys. 3 zależność obrazu wody na źródłowych zdjęciach satelitarnych (MSS-1 i TM-1) od przezroczystości wody, a na rys. 4a i b zależność przetworzonych obrazów wody od przezroczystości wody, po rekalibracji i normalizacji radiometrycznej, a przed i po wprowadzeniu korekcji atmosferycznej. Po dokonaniu przetworzeń zależność przetworzonych danych obrazowych od przezroczystości wody może być już opisana jednym


80
70
60
50
40
30
20
0
1
2
3
4
5
poziom szarości CHR3
Przezroczystość wody [m]
28MAY77-CHR3
26AUG77-CHR3
06MAY78-CHR3
18MAY79-CHR3
05JUN79-CHR3
28SEP81-CHR3
22MAY85-CHR3


80
75
70
65
60
0
1
2
3
4
5
poziom szarości CHR3
Przezroczystość wody [m]
28MAY77
26AUG77
06MAY78
18MAY79
05JUN79
28SEP81
22MAY85
26AUG90

równaniem prostej, obejmującym wszystkie terminy rejestracji satelitarnej obrazu wody (rys. 4b).

Tabela 2. Zestawienie zdjęć z satelitów serii Landsat regionu Wielkich Jezior Mazurskich i Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego (wykorzystanych do wyznaczenia zależności obrazu wody na przetworzonych zdjęciach satelitarnych od przezroczystości wody)

Table 2. The specification of the satellite Landsat scenes for the regions of the Mazurian Great Lakes District and Łęczyńsko-Włodawski Lake District (used for calculating the relationships between image of water on the processed satellite scenes and the water transparency)

Satelita Satellite	Skaner Scanner	Termin rejestracji Acquisition date	Wysokość słońca Sun elevation	Liczba stanowisk pomiaru przezroczystości wody Number of the measurement points for water transparency	Wielkość przetwarzanego obrazu Size of the processed images	
					pikseli × linii pixels × rows	km × km
Landsat-2	MSS	28 V 1977	50° 39′	3	582 × 512	32,6 × 40,4
Landsat-2	MSS	26 VIII 1977	37° 01′	3	580 × 740	32,5 × 58,5
Landsat-2	MSS	6 V 1978	45° 40′	4	580 × 740	32,5 × 58,5
Landsat-2	MSS	18 V 1979	50° 04′	14	580 × 740	32,5 × 58,5
Landsat-2	MSS	5 VI 1979	53° 27′	4	580 × 420	32,5 × 33,2
Landsat-2	MSS	28 IX 1981	30° 15′	4	580 × 740	32,5 × 58,5
Landsat-5	TM	22 V 1985	52° 03′	15	770 × 1670	23,1 × 50,1
Landsat-5	TM	26 VIII 1990	43° 22′	12	1640 × 1428	49,2 × 42,8

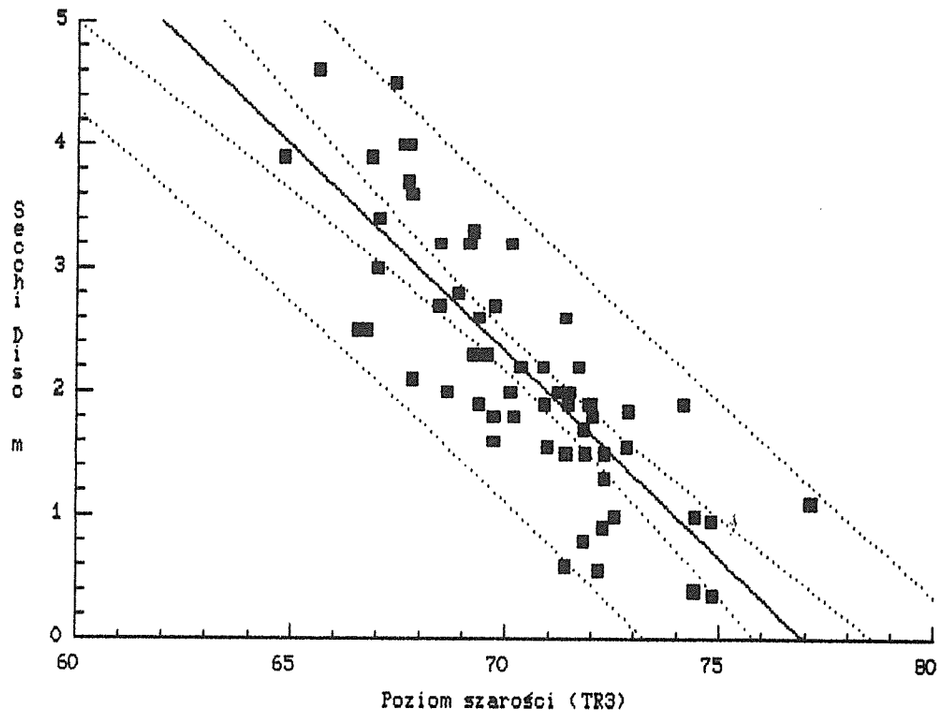
Uzyskana współliniowość danych obrazowych i przezroczystości wody, niezależna od terminu rejestracji satelitarnej, stanowi podstawę stwierdzenia, że zastosowany sposób korekcji i przetwarzania obrazów satelitarnych wody jest poprawny. Można więc teraz przystąpić już do wyznaczenia matematycznej zależności zachodzącej pomiędzy przetworzonymi obrazami satelitarnymi wody a jej przezroczystością.

W celu określenia zależności pomiędzy przetworzonymi obrazami satelitarnymi wody a jej przezroczystością wyznaczono równania regresji wykorzystując każdy z 3 obrazów współrzędnej trójchromatycznej (*TR1*, *TR2*, *TR3*). Najwyższą korelację z przezroczystością wody (*SD*) uzyskano w przypadku obrazu *TR3* ($r = -0{,}81$, $n = 59$).

Rys. 4. Zależność przetworzonego obrazu satelitarnego wody od jej przezroczystości (*SD*) w różnych terminach wykonania zdjęć satelitarnych
a) *CHR*3 — przed wprowadzeniem korekcji wpływu różnic zmętnienia atmosfery, b) *TR*3 — po wprowadzeniu korekcji

Fig. 4. The relationships between the processed satellite images of water (*CHR*3 and *TR*3) and the water transparency (*SD*) in different dates of satellite image acquisition
a) *CHR*3 — before correction of impact of atmospheric turbidity, b) *TR*3 — after correction

Błąd oceny przezroczystości wody na podstawie tego obrazu wyniósł $\pm 0{,}6$ m (rys. 5). Dla wyjaśnienia można tu dodać, iż dokładność pomiaru przezroczystości wody białym krążkiem Secchiego jest oceniana jako równa w przybliżeniu $\pm 0{,}25$ m.



Rys. 5. Zależność obrazu wody na przetworzonych zdjęciach satelitarnych (*TR3*) od jej przezroczystości (*SD*) w różnych terminach rejestracji zdjęć satelitarnych
$r = -0{,}81$, $n = 59$; błąd oceny przezroczystości wody: $\pm 0{,}6$ m

Fig. 5. The relationship between the image of water on the processed satellite scenes (*TR3*) and the water transparency (*SD*) in different dates of satellite scene acqusition
$r = -0.81$, $n = 59$; the error of the water transparency estimation: ± 0.6 m

Przedstawiona na rys. 5 zależność obrazu wody na przetworzonych zdjęciach satelitarnych (*TR3*) od jej przezroczystości (*SD*) może być wykorzystywana do oceny przezroczystości wody na podstawie jej obrazu satelitarnego. Przezroczystość wody jest wtedy określona zależnością liniową

$$SD = (-0{,}3327 * TR3) + 25{,}6 \tag{2a}$$

gdzie *TR3* jest wartością obrazu wody na przetworzonych zdjęciach satelitarnych, skorygowanych ze względu na wpływ zmętnienia atmosfery.

Aby dokonać klasyfikacji progowej obrazu wody na zdjęciu *TR3*, wydzielając np. przedziały przezroczystości wód odpowiadające wartościom granicznym klas czystości wód (Cydzik i in., 1982), tzn.

— klasa 1: > 4 m
— klasa 2: 4 – 2 m
— klasa 3: 2 – 1 m
— klasa 4: < 1 m

należy wykorzystać zależność odwrotną

$$TR3 = (-1{,}99 * SD) + 74{,}7 \tag{2b}$$

Biorąc pod uwagę błąd szacunku przezroczystości wody na podstawie przetworzonego zdjęcia satelitarnego ($\pm 0{,}6$) oraz podane powyżej szerokości klas, które — z wyjątkiem może klasy 3 — są wystarczająco szerokie, można zaakceptować przyjętą klasyfikację progową obrazu. W świetle stwierdzonych zależności pomiędzy przezroczystością wody w sezonie letnim a wynikową klasą czystości wód (rys. 1) można stwierdzić, że został osiągnięty cel prowadzonych badań. Oznacza to bowiem, że wydzielone — zgodnie ze wzorem (2b) — na przetworzonych obrazach satelitarnych zakresy przezroczystości wody, których wartości graniczne odpowiadają wartościom granicznym klas czystości wód, mogą być traktowane jako wstępna klasyfikacja czystości wód jeziora.

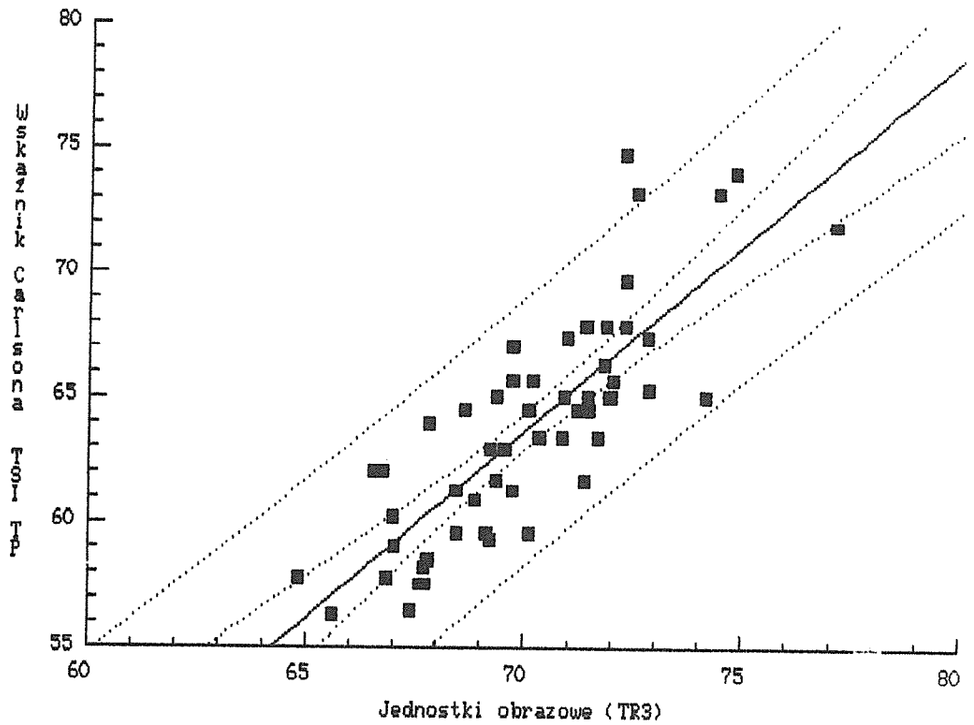
Znając siłę korelacji obrazu wody na przetworzonym zdjęciu satelitarnym *TR3* z jej przezroczystością (rys. 5) oraz istotność korelacji przezroczystości wody i zawartości fosforu całkowitego (rys. 2a i b) można było oczekiwać również istotnej korelacji tego obrazu z zawartością fosforu całkowitego. Biorąc pod uwagę, że zależność przezroczystości wody od zawartości fosforu całkowitego ma charakter logarytmiczny, wykorzystano tu wzajemną zależność współczynników stanu trofii Carlsona *TSI(SD)* i *TSI(TP)*, które są dość powszechnie stosowane w ocenie stanu trofii (Carlson, 1977). Wartość współczynnika stanu trofii *TSI(TP)* można określić na podstawie wartości współczynnika *TSI(SD)* z dokładnością ± 6 jednostek ($r = -0{,}88$, $n = 38$). Według Carlsona istotne znaczenie ma zmiana współczynnika *TSI(SD)* lub *TSI(TP)* o ± 10 jednostek. W związku z tym operuje on wartościami współczynników zaokrąglonych do pełnych dziesiątek. Uzyskany błąd ± 6 jednostek można więc uznać za zadowalający.

Uzyskano również zadowalający współczynnik korelacji ($r = 0{,}82$, $n = 52$) i błąd oceny wskaźnika *TSI(TP)* na podstawie obrazu wody na zdjęciach satelitarnych *TR3* ($\pm 2{,}4$ jednostek). Zależność obrazu wody na przetworzonych zdjęciach satelitarnych *TR3* od wartości wskaźnika Carlsona *TSI(TP)* (rys. 6) jest określona za pomocą zależności liniowej

$$TSI(TP) = (1{,}4984 * TR3) - 41{,}2 \tag{3}$$

Z obrazu wody na zdjęciach satelitarnych została więc wyznaczona wartość wskaźnika *TSI(TP)*, podstawowego parametru określenia klasy trofii jeziora (Hillbricht-Ilkowska, Kajak, 1986). Znając typ morfologiczny jeziora można określić już teraz klasę trofii jeziora.

Oczywiste jest, że informacje uzyskane na podstawie zdjęcia satelitarnego są jedynie danymi szacunkowymi. Nie mogą one zastąpić informacji, jakich dostarcza pełen zestaw wskaźników mierzonych w badaniach wód jeziornych. Jednakże koszt



Rys. 6. Zależność obrazu wody na przetworzonych zdjęciach satelitarnych (*TR*3) od wartości wskaźnika Carlsona *TSI*(*TP*)
$r=0{,}82$, $n=54$; błąd szacowania wartości wskaźnika Carlsona *TSI*(*TP*): $\pm 2{,}6$ jednostek

Fig. 6. The relationship between the images of water on the processed satellite scenes (*TR*3) and the Carlson trophic state index *TSI*(*TP*)
$r=0.82$, $n=54$; the error of the *TSI*(*TP*) estimation: ± 2.6 units

i pracochłonność prac terenowych powodują, iż takimi pomiarami może być w danym roku objęta niewielka liczba jezior. Zdjęcie satelitarne natomiast daje wprawdzie informacje szacunkowe, orientacyjne, ale obejmuje ono wszystkie albo prawie wszystkie jeziora badanego pojezierza w tym samym terminie. Z drugiej strony, nie ma na terenie Polski większych jezior, które przynajmniej raz nie byłyby objęte kompleksowymi pomiarami terenowymi. Dzięki temu można już z góry przewidzieć, w przypadku których jezior inne parametry niż przezroczystość wody dominują w wynikowej ocenie stanu czystości wód danego jeziora. Biorąc pod uwagę incydentalność takich przypadków można uznać przydatność wykorzystania zdjęć satelitarnych w badaniach jakości wód jeziornych.

Maszynopis wpłynął do Redakcji 13 X 1992 r.

Literatura

Baranowska T., 1992, *Ocena czystości i stanu trofii jezior na podstawie wieloterminowych zdjęć satelitarnych*. Prace IGiK, t. 39, nr 1(87).

Carlson R. E., 1977, *A trophic state index for lakes*. Limnology and Oceanography, t. 22, nr 2.

Cydzik D., Kudelska D., Soszka H., 1982, *Atlas stanu czystości jezior Polski badanych w latach 1974–1978*. Warszawa, Instytut Kształtowania Środowiska.

Cydzik D., Soszka H., 1988, *Atlas stanu czystości jezior Polski badanych w latach 1974–1978*. Warszawa, Instytut Kształtowania Środowiska.

Hillbricht-Ilkowska A., Kajak Z., 1986, *Parametry i wskaźniki przydatne do kontroli zmian funkcjonalnych i strukturalnych w ekosystemach jeziornych ulegających procesowi eutrofizacji*. [W:] *Monitoring ekosystemów jeziornych*. Warszawa, Ossolineum.

Kajak Z., Zdanowski B., 1983, *Ecological characteristics of lakes in north-eastern Poland versus their gradient. I. General characteristics of 42 lakes and their phosphorus load. Study objectives and scope*. Ekologia Polska, t. 31, nr 2.

Kudelska D., Cydzik D., Soszka H., 1984, *Instrukcja systemu oceny jakości jezior*. Instytut Kształtowania Środowiska, Zakład Użytkowania Wód. Warszawa, maszynopis.

Lindell L. T., 1981, *Mapping of water quality using Landsat imagery*. 15th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, May 1981.

Lindell L. T., Rosengren M., 1981, *Country-wide mapping of the water quality of Sweden using Landsat imagery*. 4eme Colloque International du G.D.T.A., Toulouse.

Rogers R. H., 1977, *Application of Landsat to the surveillance and control of lake eutrophication in the Great Lakes Basin*. Final Report prepared for NASA, Goddard Space Flight Center.

Summary

The calibrated and radiometrically corrected multitemporal Landsat-MSS and -TM images were used for developing the mathematical models describing relations between processed satellite water images and water transparency as well as between these images and Carlson trophic state index *TSI(TP)*.

For 42 lakes the relationship between resultant classes of water quality, as determined by standards of Polish System of Evaluation of Lake Quality — formed on the basis of $11 \div 17$ physical, chemical and bilogical indices measured in spring and summertime — and measurements of water transparency performed only in summertime was found.

The investigations resulted in the statement, that processed satellite images of lake water can be used for estimating water quality class and trophic state index.

KOMUNIKATY NAUKOWE

Urszula KOSSOWSKA-CEZAK

Instytut Nauk Fizycznogeograficznych UW

LATO ROKU 1992 W POLSCE NA TLE SEZONÓW LETNICH OSTATNICH 120 LAT

SUMMER 1992 IN POLAND AGAINST SUMMER SEASONS OF 120 YEARS PERIOD

Upalna i sucha pogoda, jaka utrzymywała się w Polsce ostatniego lata, skłoniła do postawienia pytań, jak dalece warunki te były anomalne i jak duże jest prawdopodobieństwo ich powtórzenia.

Próba odpowiedzi została podjęta na podstawie analizy serii wieloletniej wartości średnich miesięcznych temperatury i sum miesięcznych opadów z Warszawy. Rozpatrzono 2 serie: 100-letnią z okresu 1871–1970 ze stacji Warszawa–Obserwatorium Astronomiczne i 40-letnią z lat 1951–1990 ze stacji na Okęciu. Co prawda, posterunek klimatologiczny przy Obserwatorium Astronomicznym działa do dziś, ale zmiany wokół posterunku i rozwój miasta spowodowały, że obecnie ma on jedynie wartość historyczną i z tego względu serię zakończono na roku 1970. Okazało się, że we wspólnym dla obydwu serii 20-leciu 1951–1970 w sezonie letnim średnia temperatura na Okęciu była niższa o 0,4°C i suma opadów mniejsza o 27 mm, tzn. o 15%; różnice te wynikają z lokalizacji obydwu stacji (Obserwatorium w śródmieściu, Okęcie na peryferiach południowo-zachodnich). Dlatego też analiza każdej serii została przeprowadzona osobno.

Wstępna analiza, oparta na podziale trójklasowym równoprawdopodobnym, wykazała wyraźnie zwiększoną częstość miesięcy letnich i całych sezonów o przeciwnym znaku odchylenia temperatury średniej miesięcznej i sumy opadów oraz zmniejszonej — o tym samym znaku. Inaczej mówiąc, w miesiącach z temperaturą poniżej normy najczęściej opady są powyżej normy i odwrotnie, a najrzadziej się stwierdza miesiące i sezony o temperaturze i opadach jednocześnie poniżej normy lub powyżej. Związek taki silniej się zaznaczył w serii 100-letniej niż 40-letniej,

a najbardziej w lipcu (tab. 1) i w całym sezonie letnim (tab. 2). W świetle statystyki χ^2 przypadkowość takiego związku w lipcu wynosi zaledwie 0,1% ($\chi^2=18{,}44$), w całym sezonie 2% ($\chi^2=11{,}10$).

Tabela 1. Liczba miesięcy różnych kategorii termicznych i opadowych — lipiec (1871–1970)

Table 1. The number of months of different temperature and precipitation cathegories — July (1871–1970)

		t		
		−	n	+
o	−	5	10	18
	n	10	15	9
	+	19	8	6

Tabela 2. Liczba sezonów letnich różnych kategorii termicznych i opadowych (1871–1970)

Table 2. The number of summer seasons of different temperature and precipitation cathegories (1871–1970)

		t		
		−	n	+
o	−	6	12	15
	n	10	14	10
	+	17	11	5

Objaśnienia — Explanations: t — temperatura średnia — mean temperature, o — suma opadów — precipitation, − — poniżej przeciętnej — below average, n — przeciętne (normalne) — normal, + — powyżej przeciętnej — above average.

W celu wyłonienia miesięcy i sezonów anomalnych przyjęto za normalne te okresy, w których wartość średnia miesięczna temperatury (t) różni się od odpowiedniej średniej wieloletniej ($\bar{t}$) nie więcej niż o 1 odchylenie standardowe (σ), tj. $\bar{t}-\sigma \leqslant t \leqslant \bar{t}+\sigma$. Jeśli odchylenie przekracza wartość odchylenia standardowego, to miesiąc (sezon) przyjęto za zimny (odchylenie −) lub ciepły (odchylenie +), jeśli przekracza jego dwukrotną wartość — przyjęto odpowiednio za bardzo zimny lub bardzo ciepły. Podobnie sklasyfikowano miesiące i sezony według miesięcznych sum opadów (o), przy czym posłużono się dwiema wartościami odchylenia standardowego: osobno odchyleń ujemnych (σ_-) i dodatnich (σ_+). W związku z wyraźną asymetrią szeregów sum miesięcznych opadów to pierwsze odchylenie (σ_-) ma mniejszą wartość niż drugie (σ_+), co dało możliwość wyłonienia miesięcy i sezonów bardzo suchych (tzn. o sumie opadów: $o < \bar{o}-2\sigma_-$). Należy zauważyć, że przyjęte kryterium wydzielania okresów anomalnych pod względem opadowym (tzn. suche: $o < \bar{o}-\sigma_-$ i deszczowe: $o > \bar{o}+\sigma_+$) jest bardzo ostre, ponieważ wielkości odchylenia standardowego sum opadów w miesiącach są bliskie połowie odpowiedniej średniej sumy miesięcznej, a w całym sezonie letnim ok. 1/4 średniej sumy w sezonie, podczas gdy w dość popularnym ujęciu Kaczorowskiej (1962) za normalne przyjmuje się sumy opadów różniące się od odpowiedniej średniej sumy wieloletniej nie więcej niż 10%. Zakres wartości „normalnych" przy założeniu $\bar{o}-\sigma_- \leqslant o \leqslant \bar{o}+\sigma_+$ jest oczywiście znacznie szerszy niż w klasie środkowej w podziale trójklasowym równoprawdopodobnym.

Częstość klas termiczno-opadowych wyłonionych na podstawie powyższych kryteriów jeszcze wyraźniej ujawnia zaobserwowaną uprzednio prawidłowość: miesiące i sezony zimne i bardzo zimne najczęściej są normalne pod względem

opadów, deszczowe lub bardzo deszczowe, a ciepłe i bardzo ciepłe — normalne pod względem opadów lub suche. Sporadycznie zdarzały się miesiące i sezony zimne i suche (po 1–2 w 100-leciu i po 1 w 40-leciu), natomiast zupełnie nie było ciepłych i deszczowych (tab. 3–6). Blisko połowa miesięcy okazuje się normalna zarazem pod

Tabela 3. Liczba miesięcy normalnych i anomalnych — lipiec (1871–1970)

Table 3. The number of normal and anomalous months — July (1871–1970)

	bz	*z*	*n*	*c*	*bc*
s	·	·	15	7	·
n	3	12	38	8	2
d	·	4	9	·	·
bd	·	1	1	·	·

Tabela 4. Liczba miesięcy normalnych i anomalnych — sierpień (1871–1970)

Table 4. The number of normal and anomalous months — August (1871–1970)

	bz	*z*	*n*	*c*	*bc*	*sc*
s	·	2	12	3	4	1
n	1	8	47	9	1	·
d	·	·	10	·	·	·
bd	·	·	2	·	·	·

Tabela 5. Liczba sezonów letnich normalnych i anomalnych (1871–1970)

Table 5. The number of normal and anomalous summer seasons (1871–1970)

	bz	*z*	*n*	*c*	*bc*
bs	·	·	1	·	·
s	1	1	11	2	1
n	·	6	51	13	·
d	·	3	7	·	·
bd	·	1	2	·	·

Tabela 6. Liczba sezonów letnich normalnych i anomalnych (1951–1990)

Table 6. The number of normal and anomalous summer seasons (1951–1990)

	z	*n*	*c*	*bc*
bs	·	1	1	(1992)
s	1	4	1	·
n	5	19	2	·
d	1	4	·	·
bd	·	1	·	·

Objaśnienia — Explanations: *bz* — bardzo zimne — very cold, *z* — zimne — cold, *n* — normalne — normal, *c* — ciepłe — warm, *bc* — bardzo ciepłe — very warm, *sc* — skrajnie ciepłe — extremely warm, *bs* — bardzo suche — very dry, *s* — suche — dry, *n* — normalne — normal, *d* — deszczowe — rainy, *bd* — bardzo deszczowe — very rainy.

względem temperatury i opadów (*nn*), ok. 10% — anomalna pod względem obydwu badanych elementów (zimne i suche — *zs*, zimne i deszczowe — *zd*, ciepłe i suche — *cs*) i ok. 5% — normalna pod względem jednego elementu, ale wykazująca znaczne odchylenie (powyżej 2σ) pod względem drugiego; są to miesiące bardzo zimne i bardzo ciepłe, normalne pod względem opadów (*bzn*, *bcn*) oraz o normalnej temperaturze, bardzo deszczowe (*nbd*).

W każdym okresie warunki kształtują się w zależności od charakteru cyrkulacji atmosferycznej. W miesiącach letnich nad obszarem Polski przeważają typy cyrkulacji z wycinka W-N-NE, najrzadziej natomiast pojawiają się z sektora S-E, przy czym ogólnie częściej notuje się typy antycyklonalne niż cyklonalne. Taki charakter cyrkulacji w okresie letnim można stwierdzić na podstawie obydwu stosowanych w Polsce klasyfikacji typów cyrkulacji: Osuchowskiej-Klein

i L i t y ń s k i e g o, opartych na całkowicie odmiennych zasadach, i na podstawie różnych okresów, z których kalendarze typów cyrkulacji zostały opublikowane: odpowiednio 1901–1990 i 1951–1990 (Osuchowska-Klein, 1978, 1991; Stępniewska-Podrażka, 1991). Wymienione kierunki napływu mas powietrznych są typowe dla wszystkich miesięcy letnich, jedynie od czerwca do sierpnia stopniowo maleje udział typów cyrkulacji z sektora północno-wschodniego, a w sierpniu nieco zwiększa się częstość typów ze składową południową. To ostatnie znajduje odbicie w większej niż w czerwcu i lipcu częstości miesięcy ciepłych i bardzo ciepłych (tab. 4), a w 100-leciu stwierdzono nawet jeden sierpień skrajnie ciepły ($t > \bar{t} + 3\sigma$; 1939 r.).:

Analiza warunków cyrkulacji w miesiącach i sezonach skrajnych pod względem temperatury wykazała dość oczywistą zależność: w najzimniejszych spośród nich, takich jak czerwiec 1923 r. (13,0°C) i 1984 r. (14,4°C), lipiec 1979 r. (15,1°C), sierpień 1987 r. (15,2°C), lato 1923 r. (15,8°C), dominowały typy cyrkulacji ze składową północną, których udział sięgał nawet 80% dni, najczęściej przy zupełnym braku dni z cyrkulacją o składowej południowej. Przeważały typy cyklonalne, a „najzimniejsze" okazały się typy cyrkulacji północno-zachodnie. W miesiącach i sezonach najcieplejszych, takich jak czerwiec 1917 r. (20,5°C) i 1964 r. (20,4°C,) lipiec 1932 r. (21,4°C) i 1959 r. (21,6°C), sierpień 1939 r. (21,7°C), lato 1939 r. (20,0°C), przeważała cyrkulacja bądź to ze składową południową, bądź wschodnią, przy czym nierzadko znaczny bywał udział cyrkulacji północno-wschodniej antycyklonalnej (np. w skrajnie ciepłym sierpniu 1939 r. ponad 30% dni, przy 52% południowo-wschodniej). We wszystkich bardzo ciepłych miesiącach przeważała cyrkulacja antycyklonalna (w sierpniu 1939 r. aż 94% dni). Wynik ten potwierdza wcześniejsze wnioski (np. Kuziemska, 1987), że o wystąpieniu skrajnych warunków termicznych decyduje łączny wpływ czynników adwekcyjnych i radiacyjnych: ciepłe powietrze polarne kontynentalne lub zwrotnikowe, napływające w układzie antycyklonalnym, ulega dodatkowo nagrzaniu w warunkach intensywnej insolacji podczas długiego letniego dnia.

Podobna analiza typów cyrkulacji w miesiącach o skrajnych sumach opadów przyniosła wynik dość przypadkowy: tak w miesiącach najsuchszych, jak i najbardziej deszczowych występowały typy cyrkulacji z różnych kierunków, chociaż w suchych na ogół przeważały typy antycyklonalne (nawet 80% dni i więcej), w deszczowych cyklonalne, zdarzały się jednak znaczne odstępstwa, zwłaszcza znaczny udział typów antycyklonalnych w miesiącach deszczowych. Ta przypadkowość wyniku jest zrozumiała, jeśli weźmie się pod uwagę, że analiza dotyczy sum opadów z pojedynczej stacji meteorologicznej (tym bardziej, że położonej w obrębie dużego miasta, gdzie ilość opadów jest modyfikowana przez obecność zabudowy). Ogólnie duże zróżnicowanie przestrzenne narasta w okresie letnim, gdy znaczny udział w sumie miesięcznej i sezonowej mają opady pochodzenia konwekcyjnego — niekiedy obfite, lecz nad ograniczonym obszarem. Jak dalece mało reprezentatywne są wyniki dotyczące opadów z jednego tylko miejsca, można stwierdzić na podstawie wspólnego odcinka czasowego obydwu rozpatrywanych serii: w okresie 1951–1970 wszystkie 20 sezonów zostało zakwalifikowanych do tej samej kategorii

termicznej, gdy tylko 12 do tej samej kategorii opadowej. W przypadku zaliczenia sezonu do różnych kategorii z reguły na Okęciu była to kategoria o niższych opadach niż w Obserwatorium, przy czym najczęściej na Okęciu lato okazywało się suche, gdy w Obserwatorium normalne (z sumą opadów blisko dolnej granicy przedziału). Dlatego wszelkie wnioski dotyczące opadów należy traktować tu jako dość ogólne.

Przegląd dobowych sum opadów w wybranych miesiącach deszczowych i bardzo deszczowych, w których przeważał udział cyrkulacji antycyklonalnej (czerwiec 1959 r. 63% dni, lipiec 1970 r. 55% dni, sierpień 1972 r. 64% dni) ujawnił, że w miesiącach tych występowały często opady o charakterze burzowym, przynoszące sumy dobowe powyżej 30 mm, a niekiedy nawet 50 mm.

Średnie wartości temperatury i sumy opadów w miesiącach letnich i całym sezonie 1992 r. w Warszawie całkowicie potwierdzają opisane prawidłowości, odznaczają się przy tym cechami skrajnymi: czerwiec i lipiec były zarazem ciepłe i suche (odpowiednio 18,4 i 20,1°C, 39 i 25 mm), sierpień zaś skrajnie ciepły i suchy (21,4°C i 26 mm)[1]; miesiące te złożyły się na sezon bardzo ciepły i bardzo suchy (20,0°C i 90 mm). W latach 1951–1990 taki czerwiec był na Okęciu 1 raz, lipiec 2 razy, natomiast sierpnia takiej kategorii nie było ani razu. Również nie było sezonu letniego bardzo ciepłego i bardzo suchego i to zarówno w 40-leciu (Okęcie), jak i w 100-leciu (Obserwatorium Astronomiczne). Pierwszy raz także wystąpił ciąg 3 kolejnych miesięcy o temperaturze powyżej i opadach poniżej przeciętnych. Lato 1992 r. było najbardziej podobne do lata 1939 r., kiedy to wystąpił jedyny raz w 100-leciu ciąg 3 miesięcy o temperaturze powyżej normy, w tym sierpień skrajnie ciepły, a czerwiec i sierpień były zarazem suche; lipiec miał opady normalne, ale w pobliżu dolnej granicy przedziału.

Aczkolwiek, jak zauważono wcześniej, wnioski dotyczące ilości opadów są tylko ogólne, to jednak należy stwierdzić, że sezony o równie niskich opadach jak w 1992 r. w bieżącym stuleciu występowały kilkakrotnie: w latach 1904, 1911, 1921, 1928, 1939, 1951, 1976, chociaż wszystkie 3 miesiące letnie były suche (w rozumieniu przyjętego kryterium $o < \overline{o} - \sigma_-$) tylko w latach 1904 i 1911. Susza, jaka wystąpiła w 1992 r., była zatem wynikiem nie tylko niedostatku opadów, ale jednocześnie wysokiej temperatury. Należy dodać, że suchy był także ostatni miesiąc wiosny — maj (pomijamy tu szersze zagadnienie ogólnie zmniejszonych opadów w ostatnich latach).

Wysoka temperatura powietrza tego lata, mimo iż przewyższała przeciętną we wszystkich 3 miesiącach, skrajnie wysokie wartości osiągnęła tylko w sierpniu. W 40-leciu 1951–1990 4-krotnie zarówno czerwiec, jak i lipiec były cieplejsze niż w 1992 r., natomiast równie upalny sierpień w całym badanym okresie był poza tym tylko w roku 1939. W sierpniu 1992 r. zanotowano w Warszawie maksimum temperatury 36,0°C, praktycznie równe najwyższemu dotychczas zanotowanemu w bieżącym 100-leciu 35,9°C w lipcu 1959 r. — miesiącu bardzo ciepłym. Warto tu zwrócić

[1] Dane zaczerpnięto z *Miesięcznego Biuletynu Hydrologiczno-Meteorologicznego IMGW*, nr 6/92, 7/92, 8/92.

uwagę, że bardzo wysokie maksima nie zawsze pojawiały się właśnie w miesiącach ciepłych (m.in. w lipcu 1943, 1957 i 1963 r., które były miesiącami o temperaturze przeciętnej), ale też nie zawsze bardzo ciepłe miesiące wyróżniały się „rekordowo" wysokimi maksimami (np. w sierpniu 1939 r. najwyższe maksimum wyniosło 33,7°C). Maksimum absolutne temperatury z 1992 r. nie osiągnęło jednak wartości maksimum absolutnego zanotowanej 100 lat wcześniej (38,0°C w sierpniu 1892 r., miesiącu bardzo ciepłym; Kuziemska, 1983). Zatem skrajnie anomalne warunki lata 1992 r. wynikły nie z ekstremalnych, dotychczas nie notowanych, niskich opadów i wysokiej temperatury, ale z ich jednoczesnego wystąpienia i wyjątkowej długotrwałości.

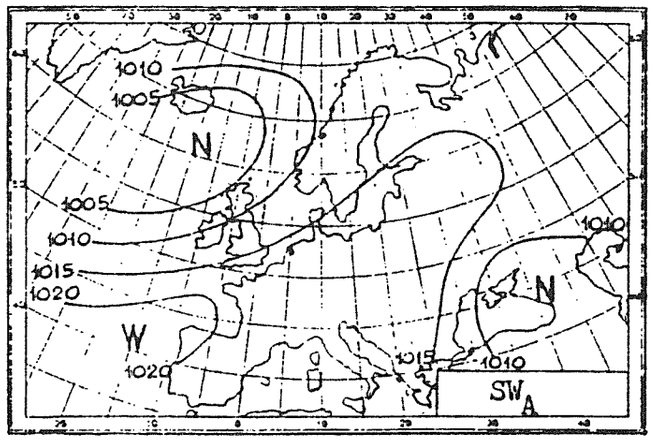
Przyczyną tego był charakter cyrkulacji, jaki nie miał swojego odpowiednika w bieżącym 100-leciu (przy tym w pełni zgodny ze stwierdzonymi wcześniej prawidłowościami). I tak, pogodę w czerwcu kształtowała przewaga typów cyrkulacji wschodniej i południowo-wschodniej, zazwyczaj rzadko występujących w tym miesiącu (razem 53% dni, tj. 4-krotnie częściej niż przeciętnie), chociaż pojawiały się również typy cyrkulacji północno-zachodniej (27% dni). W lipcu najczęściej występował typ cyrkulacji południowo-zachodniej antycyklonalnej (42% dni), większy niż przeciętnie był też udział typów cyrkulacji południowej (10%; razem 52% dni, tj. 4-krotnie częściej niż przeciętnie). Wreszcie w sierpniu przez większą część miesiąca utrzymywał się również typ cyrkulacji południowo-zachodniej, którego częstość (82% dni) była znacznie większa niż kiedykolwiek w badanym okresie (8 razy częściej niż przeciętnie). Typ cyrkulacji południowo-zachodniej antycyklonalnej, najdłużej występujący w drugiej połowie lipca i pierwszej połowie sierpnia, był związany z klinem wyżu azorskiego, który objął część południową i zachodnią Europy, wraz z Europą Środkową (rys. 1). W sierpniu ponadto w zasięgu tego klina powstał wtórny ośrodek wysokiego ciśnienia nad Półwyspem Bałkańskim[2]. Z takim rozkładem ciśnienia atmosferycznego była związana adwekcja powietrza zwrotnikowego, w którego zasięgu zanotowano najwyższą temperaturę podczas tego lata: w Warszawie w pierwszej dekadzie sierpnia średnia temperatura powietrza wyniosła 23,7°C, a najwyższe maksima wystąpiły w dniach 9 i 10 sierpnia.

Napływ gorącego powietrza w zasięgu układu wysokiego ciśnienia nie sprzyjał wystąpieniu znaczniejszych opadów. Jeśli dochodziło do ich powstania, to były to opady burzowe, o nieregularnym rozkładzie przestrzennym. W Warszawie w tym sezonie suma opadów wyniosła poniżej 50% odpowiedniej sumy wieloletniej.

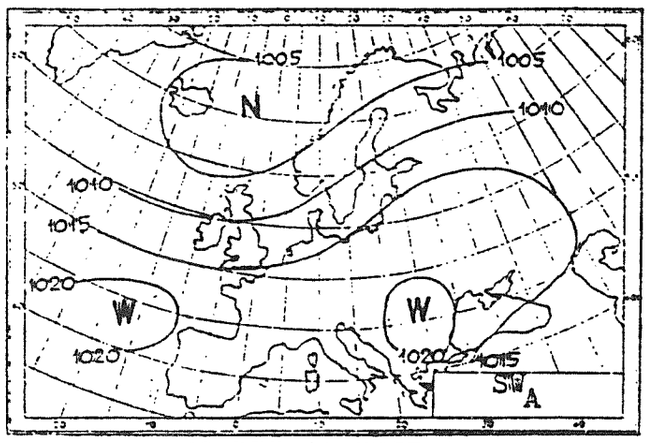
Długotrwała adwekcja powietrza zwrotnikowego w zasięgu wyżu sprowadziła zatem pogodę upalną i suchą, jaka nie wystąpiła w tym natężeniu od ponad 120 lat. Wniosek ten, wysnuty na podstawie danych z Warszawy, można jednak odnieść do całej Polski, aczkolwiek zakres anomalii termicznej i opadowej w różnych częściach kraju był zróżnicowany[3]. W czerwcu najsilniej zaznaczyła się na krańcach zachodnich, gdzie odchylenie temperatury średniej miesięcznej od średniej wieloletniej

[2] Charakterystyka na podstawie *Miesięcznego Biuletynu Hydrologiczno-Meteorologicznego IMGW*, nr 6/92, 7/92, 8/92.

[3] Opracowano na podstawie danych z *Biuletynu Agrometeorologicznego IMGW*, nr 16–24, 1992 r.



16-26.VII.1992



30.VII-12.VIII.1992

Rys. 1. Średnie pole ciśnienia (na poziomie morza) w typie cyrkulacji południowo-zachodniej antycyklonalnej w wybranych okresach lata 1992 r.

Fig. 1. Mean atmospheric pressure field (at sea level) in South-Western anticyclonic circulation type during selected periods of summer 1992
(*Miesięczny Biuletyn Hydrologiczno-Meteorologiczny IMGW*, 7/92, 8/92)

(1951–1980) wynosiło 2,5–3°C, w pasie środkowym ok. 1,5–2°C, a na wschodzie malało do 0,5–1°C. W tym miesiącu sumy opadów na krańcach północno-zachodnich stanowiły poniżej 20% odpowiednich średnich wieloletnich (1951–1980), wzrastając do 30–50% w obszarach południowo-zachodnich, środkowych i północno-wschodnich oraz 60–80% w części południowo-wschodniej. W lipcu anomalia temperatury była mniej zróżnicowana przestrzennie i wynosiła ok. 2–2,5°C w części zachodniej i 1–1,5°C we wschodniej, a opady były rozłożone bardzo nieregularnie, osiągając

40–70% normy. W sierpniu rozkład anomalii temperatury był odmienny: największa była na południu Polski, gdzie wynosiła 4,5–5°C, lokalnie przekraczając 5°C, w pasie środkowym Polski 3,5–4°C, w części północnej 2,5–3°C, na krańcach północnych malejąc do 2°C. Opady w sierpniu były także rozmieszczone nieregularnie, ale ogólnie mniejsze w części południowej (ok. 10–30% normy), większe w północnej (70–80%), lokalnie przekraczając odpowiednią sumę wieloletnią (m.in. w Szczecinie i Świnoujściu).

Przedstawiona charakterystyka lata 1992 r. ma tylko charakter orientacyjny i daleka jest od wyczerpania zagadnienia, niewątpliwie zasługującego na głębszą uwagę. Na przykład, interesujące jest pytanie, jak duża była rola efektu fenowego w powstaniu tak dużej anomalii temperatury i niedostatku opadów w sierpniu na krańcach południowych Polski. Zbadania też wymagają konsekwencje tej anomalnej pogody, jakie stanowiły m.in. liczne i rozległe pożary lasów, które nie mogły nie wywrzeć wpływu na procesy zachodzące w atmosferze.

Maszynopis wpłynął do Redakcji 3 XI 1992 r.

Literatura

Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*. Prace Geograficzne IG PAN, nr 33.

Kuziemska D., 1983, *O zakresie zmienności temperatury powietrza w Polsce*. Prz. Geof., t. 28, nr 3–4.

Kuziemska D., 1987, *Zróżnicowanie temperatury powietrza na obszarze Polski a typy cyrkulacji atmosferycznej nad Europą Środkową*. Prz. Geof., t. 32, nr 3.

Osuchowska-Klein B., 1978, *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej*. Warszawa, WKiŁ.

Osuchowska-Klein B., 1991, *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej (1976–1990)*. Warszawa, IMGW.

Stępniewska-Podrażka M., 1991, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej (1951–1990)*. Warszawa, IMGW.

Summary

In the paper the anomalous summer 1992 is described with Warsaw as an example. Summer 1992 in Poland was conspicuous by unusual long duration of hot and rainless weather: 3 summer months (June, July and August) were hot and dry. The reason was very high frequency (above 40%) of South-Western anticyclonic circulation type, connected with Azorian High. In other summer months of 20 century, which were warm or hot and dry, rather East or South circulation types were prevailing.

KRONIKA

KRONIKA EUROPROBE
EUROPROBE PROJEKT — KONFERENCJA NAUKOWA
(Nykobing, Dania, 27 IX–7 X 1992 r.)

Kolejna konferencja naukowa dotycząca realizacji podstawowych założeń programu badań struktury i ewolucji tektonicznej kontynentu europejskiego, znanego jako EUROPROBE Project, odbyła się w miejscowości Nykobing w Danii. W Kopenhadze natomiast obradował EUROPROBE Management Committee oraz Scientific Steering Committee w sprawie przyszłości i podstaw finansowych interdyscyplinarnych badań geodynamicznych w Europie, ujętych w projekcie EUROPROBE.

W ramach konferencji naukowej odbyły się wielodniowe spotkania robocze, których celem było określenie wspólnych zasad postępowania metodycznego przy interpretacji danych eksperymentalnych oraz opracowanie hipotez roboczych dla rozpoczynających się w najbliższych latach międzynarodowych badań geodynamicznych całego kontynentu europejskiego, w jednolitym programie ujętym w EUROPROBE Project. Tematyka posiedzeń roboczych dotyczyła następujących problemów z zakresu geofizyki i geologii:

1. Modelowanie sejsmicznych pól falowych (refrakcyjnych i refleksyjnych) na przykładzie danych z obszaru Polski oraz Danii i Niemiec.
2. Interpretacja danych paleomagnetycznych a biogeografia.
3. Relacje między strukturami powierzchniowymi a głębokimi.
4. Archaiczne i wczesnoproterozoiczne termalne reżimy Ziemi.
5. Natura i ewolucja dolnej litosfery Ziemi, włączając nieciągłość Moho.
6. Struktura i własności fizyczne podłoża krystalicznego skorupy ziemskiej na północo-wschód od strefy tektonicznej Teisseyre'a-Tornquista (TTZ).
7. Wendyjsko-kaledońska historia strefy TTZ.
8. Waryscyjska akrecja a strefa TTZ.
9. Modelowanie basenu polskiego.
10. Przegląd badań i projektów w obszarach wybranych, tzw. *target area.*

Te ostatnie są związane z „Transeuropejskim Systemem Szwów Tektonicznych", którego osią jest strefa TTZ, między Morzem Północnym i Morzem Czarnym. Do obszarów szczególnego zainteresowania w tej strefie zalicza się rejon Zatoki Niemieckiej i duńskiego sektora Morza Północnego, przejście od głębokich struktur skorupy ziemskiej Bałtyku do struktur północnoniemieckiego basenu, północno-zachodnia i południowo-wschodnia Polska oraz południowo-wschodnie przedłużenie strefy TTZ w rejonie Karpat Wschodnich i Morza Czarnego.

W ramach poszczególnych posiedzeń roboczych przedstawiono bądź zademonstrowano na obrazach komputerowych trudną do określenia liczbę referatów, doniesień, wreszcie hipotez roboczych, będących następnie przedmiotem intensywnych dyskusji. Niektóre grupy robocze, takie jak grupa sejsmicznego modelowania, zrealizowały konkretne eksperymenty obliczeniowe za pomocą zainstalowanych systemów komputerowych, proponując w efekcie ściśle określone rozwiązania dyskutowanych problemów. Było to jednak możliwe po kilkumiesięcznych przygotowaniach korespondencyjnych całego 25-osobowego międzynarodowego zespołu, które poprzedziło główne spotkanie w Danii.

Podczas ostatniego dnia trwania konferencji zostały przedstawione raporty z posiedzeń wszystkich grup roboczych, dokonano podsumowania wyników obrad w Nykobing oraz wszystkich innych specjalistycznych spotkań roboczych, jakie odbyły się w różnych krajach w 1992 r. Sformułowane zostały główne problemy i najważniejsze zadania na lata 1993–1995, które oczywiście będą przedmiotem dalszych szczegółowych dyskusji. Jednym z fundamentalnych projektów, których realizacja jest przewidziana na 1993 r., zgłoszonym przez zespół polski, jest wykonanie głębokich sondowań sejsmicznych skorupy ziemskiej i dolnej litosfery wzdłuż strefy tektonicznej Teisseyre'a-Tornquista na obszarze Polski, w przybliżeniu między Szczecinem i Warszawą. Bardzo szczegółowe badania struktury i własności fizycznych litosfery sięgną do głębokości rzędu 80–100 km i będą wykonane w szerokiej współpracy międzynarodowej. Badania będą również przedłużone na obszar Europy północno-zachodniej. Ten projekt badawczy uznano za priorytetowy w 1993 r.

W kilku wypowiedziach wybitnych geologów i geofizyków, zabierających głos w sesji podsumowującej obrady, zwrócono uwagę na kluczowe znaczenie obszaru Polski dla rozwiązania głównych problemów geodynamicznych kontynentu europejskiego. Stwierdzono również, że szczególne znaczenie dla geodynamiki kontynentu ma szeroko rozumiany obszar Gór Świętokrzyskich i dlatego w tym rejonie w najbliższych latach powinien być wykonany bardzo kosztowny i unikalny eksperyment, a mianowicie 3-wymiarowe zdjęcie sejsmiczne całej litosfery.

Obrady i dyskusje były niezwykle pracowite, toczyły się z reguły od godziny 9 rano do 24 w nocy. Na szczególne podkreślenie zasługuje atmosfera pełnej konsolidacji i zrozumienia ogromnej wagi zachodzącego właśnie procesu integracji europejskiego środowiska naukowego, związanego z interdyscyplinarnymi badaniami geodynamicznymi kontynentu. W obradach uczestniczyli przedstawiciele niemal wszystkich krajów europejskich, a także kilku wybitnych geologów i geofizyków z USA i Kanady. Zespół polski liczył 15 osób, których pobyt na konferencji, a także częściowo i podróż, były finansowane przez Europejską Fundację Naukową. Spośród kilku posiedzeń roboczych planowanych na 1993 r. jedno (grupa sejsmicznego modelowania) odbędzie się w sierpniu w Polsce.

Przed konferencją naukową w Nykobing odbyły się dwa, bardzo istotne, spotkania organizacyjne w siedzibie Duńskiej Królewskiej Akademii Nauk w Kopenhadze. Było to najpierw wspomniane na wstępie spotkanie Scientific Steering Committee, który ostatecznie ukształtował się w składzie: prof. prof. D. G. Gee, Uniwersytet w Uppsali (przewodniczący), K. Fuchs, Uniwersytet w Karlsruhe (zastępca przewodniczącego), E. Banda, Najwyższa Rada Badań Naukowych, Barcelona, A. Berthelsen, Uniwersytet w Kopenhadze, R. Garetsky, Białoruska Akademia Nauk w Mińsku (reprezentuje WNP), A. Guterch, Polska Akademia Nauk w Warszawie, P. Matte, Uniwersytet w Montpellier, R. A. Stephenson, Uniwersytet w Amsterdamie, oraz dr M. Fratta, Europejska Fundacja Naukowa w Strasburgu.

Drugie spotkanie było zorganizowane przez EUROPROBE Management Committee, któremu przewodniczy prof. D. Maronde z Niemiec. W skład tego komitetu wchodzi 15 osób, w tym niżej podpisany. W świetle przedstawionych raportów, przeprowadzonej dyskusji i deklaracji oficjalnych przedstawicieli Europejskiej Fundacji Naukowej i odpowiednich agend Wspólnoty Europejskiej, program EUROPROBE cieszy się ogromnym zainteresowaniem i poparciem tych instytucji. Warto zaznaczyć, że podkreślano z dużym uznaniem bardzo aktywny udział strony polskiej, zarówno merytoryczny jak i organizacyjny, w realizacji EUROPROBE Project.

Aleksander Guterch

KASA IM. JÓZEFA MIANOWSKIEGO — FUNDACJA POPIERANIA NAUKI

Z pewnym opóźnieniem informujemy o wznowieniu działalności znanej od ponad 100 lat Kasy im. J. Mianowskiego. Przypomnijmy, iż w 1881 r. wychowankowie Szkoły Głównej w Warszawie, jedynej wówczas polskiej uczelni wyższej w zaborze rosyjskim, utworzyli Kasę pomocy dla osób pracujących na polu naukowym im. dra med. Józefa Mianowskiego. Józef Mianowski (1804–1879), profesor fizjologii Akademii Medyko-Chirurgicznej w Wilnie (1839–1842), a później w Petersburgu, był w latach 1862–1869 rektorem Szkoły Głównej w Warszawie (a więc przez cały okres jej istnienia). Kasa stała się

wkrótce ważną polską organizacją wspomagającą badania i wydawnictwa naukowe. Istniała aż do połowy XX w. i została zlikwidowana z końcem 1952 r., w związku z powstaniem Polskiej Akademii Nauk.

W okresie zaborów Kasa udzielała przede wszystkim pomocy finansowej w publikowaniu dzieł i czasopism naukowych, a także zapomóg na studia i prace badawcze; później także finansowała towarzystwa naukowe i wydawanie podręczników dla szkół. M.in. wydawano *Bibliotekę Matematyczno-Fizyczną*, *Słownik Geograficzny Królestwa Polskiego i innych krajów słowiańskich*, dofinansowano *Wielką Encyklopedię Powszechną Ilustrowaną* oraz wydawnictwo ciągłe *Poradnik dla samouków*. Wśród założycieli Kasy znaleźli się też specjaliści z zakresu nauk o Ziemi, m.in. Eugeniusz Dziewulski, Feliks Kucharzewski, Stanisław Przystański, Filip Sulimierski, Bronisław Znatowicz. Pierwszym prezesem Kasy (1881–1886) był dr med. Tytus Chałubiński, profesor b. warszawskiej Akademii Medyko-Chirurgicznej i Szkoły Głównej.

W 1916 r. przystąpiono do przekształcenia Kasy i podniesienia jej rangi naukowej, co znalazło wyraz w nowym statucie z 1920 r. Zmieniono nazwę na: Kasa im. Mianowskiego — Instytut Popierania Nauki oraz powołano Radę Naukową. Weszli do niej przedstawiciele Polskiej Akademii Umiejętności, towarzystw naukowych i uczelni wyższych, a wśród nich m.in. Władysław Dziewulski (Uniwersytet Wileński), Ignacy Mościcki (Politechnika Lwowska — późniejszy prezydent RP), Karol Pomianowski (Politechnika Warszawska), Stanisław Thugutt (Uniwersytet Warszawski). Przewodniczącym Rady został znany matematyk Kazimierz Żórawski (Politechnika i Uniwersytet Warszawski). Rozpoczęto także wydawanie rocznika *Nauka Polska*. Podjęto szeroką akcję wydawania podręczników akademickich, dzięki utworzeniu w 1929 r. własnej drukarni; wspomagano także wydawnictwa niektórych instytucji, jak np. Akademii Nauk Technicznych, Państwowego Instytutu Geologicznego i Państwowego Instytutu Meterologicznego, towarzystw naukowych i muzeów. Utworzono też dom pracy twórczej w Mlądzu pod Otwockiem, zwany żartobliwie Mądralinem; nazwa ta utrzymała się do dziś. Podczas wojny (1939–1945) Kasa działała konspiracyjnie — oczywiście w ograniczonym zakresie, a w czasie Powstania Warszawskiego straciła cały niemal majątek.

W lecie 1945 r. podjęto próby reaktywowania Kasy, a jej kuratorem z ramienia Ministerstwa Oświaty został Tadeusz Manteuffel (Uniwersytet Warszawski). Pierwszym prezesem wybrano Franciszka Czubalskiego, którego w końcu 1947 r. zastąpił znany geolog Stanisław Małkowski. Wznowiono też Radę Naukową, na czele której stanął Tadeusz Lehr-Spławiński (UJ). Wznowiono rocznik *Nauka Polska*, doprowadzając do wydania tomu XXV. Wkrótce jednak, w związku z powołaniem PAN, Kasa została w dniu 3 III 1952 r. włączona do Towarzystwa Naukowego Warszawskiego i z końcem 1952 r. zaprzestała działalności.

Inicjatywa wznowienia działalności Kasy im. Mianowskiego powstała w 1990 r. w Instytucie Historii Nauki, Oświaty i Techniki PAN. Zyskała ona poparcie Towarzystwa Naukowego Warszawskiego i Polskiej Akademii Nauk. W dniu 20 V 1991 r. reaktywowano Kasę aktem notarialnym, uzyskując formę i nazwę Fundacji Popierania Nauki, a 11 X 1991 r. Kasa została wpisana do rejestru fundacji decyzją Sądu Rejonowego dla m. st. Warszawy.

Kasa im. Mianowskiego — Fundacja Popierania Nauki uzyskała statut, w którym stwierdza się, iż jest kontynuatorką i sukcesorem praw i majątku istniejącej od 1881 r. Kasy pomocy dla osób pracujących na polu naukowym im. dra med. J. Mianowskiego. Wypełniając swe zadania Kasa:

— występuje jako rzecznik interesów polskiego środowiska naukowego,
— subwencjonuje badania i wydawnictwa naukowe,
— funduje stypendia i nagrody,
— wspiera społeczny ruch naukowy,
— organizuje zjazdy nauki polskiej,
— współdziała z instytucjami naukowymi krajowymi i zagranicznymi,
— ogłasza konkursy na prace badawcze,
— podejmuje stosowne działania informacyjne,
— prowadzi działalność wydawniczą,
— przygotowuje i publikuje roczniki *Nauka Polska — Jej potrzeby, Organizacja i Rozwój*,
— zabiega o pozyskanie środków na działalność statutową Kasy.

Obecnie działa Komitet Kasy im. Mianowskiego, którego prezesem jest Władysław Findeisen, profesor Politechniki Warszawskiej oraz Rada Fundatorów z przewodniczącą prof. Barbarą Kuźnicką

(IHNOiT PAN). Z okazji wznowienia działalności Kasy opracowano i wydano broszurę *Kasa imienia Józefa Mianowskiego — Fundacja Popierania Nauki 1881–1991* (Warszawa 1992); opracowanie redakcyjne oraz autorstwo zarysu historii Kasy: Piotr H ü b n e r, Jan P i s k u r e w i c z, Leszek Z a s z t o f t. Z tej broszury czerpaliśmy wiadomości przy pisaniu niniejszej notatki. Siedziba Kasy znajduje się w Warszawie (Pałac Staszica, ul. Nowy Świat 72, pok. 245; 00-330 Warszawa; tel. 26-71-74). O dalszej działalności Kasy postaramy się informować Czytelników.

Zdzisław Mikulski

RECENZJE

M a j e w s k i A. *Oceany i morza*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1992; ss. 243, rys. 74, zał. 3, mapa poza tekstem.

Polska literatura oceanograficzna jest niestety wciąż jeszcze uboga i nie zaspokaja ogromnych potrzeb, zwłaszcza dydaktycznych. Prof. Aleksander M a j e w s k i, wieloletni kierownik Zakładu Fizyki i Chemii Morza w Oddziale Morskim Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Gdyni, a następnie profesor w Instytucie Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego, podjął przed laty trud napisania podręcznika oceanografii regionalnej. Praca wymagała przejrzenia bogatej literatury w celu zebrania ogromu materiału dokumentacyjnego, umiejętności jego weryfikacji i syntetyzowania. Jako recenzent dzieła do druku mogę z pełnym przeświadczeniem stwierdzić wysoką jego wartość i wyrazić Autorowi słowa uznania i pochwały.

Układ treści jest logiczny — nadrzędnym obiektem jest ocean, w ramach którego są omówione wszystkie w zasadzie morza w obrębie danego oceanu. Opisy mórz zawierają charakterystyki morfologiczne i morfometryczne, dane o klimacie i warunkach hydrologicznych oraz zasobów i zaplecza żeglugowego. Ogółem omówiono ok. 100 mórz i zatok oraz 40 cieśnin. Wyjaśniono pochodzenie nazw obiektów wodnych, podano krótkie wzmianki biograficzne odkrywców i badaczy mórz.

Zasadniczą treść książki poprzedza (poza wstępem) rozdział *Ocean*, w którym omówiono pojęcie oceanu od czasów antycznych, wymiary wszechoceanu (według różnych źródeł) i dość szczegółowo podział wszechoceanu — od czasów najdawniejszych po ostatnie podziały oficjalne. Wreszcie, jako wstęp do zasadniczych części pracy, podano klasyfikację oceanów i mórz. Dołączona do książki mapka pokazuje numerację oceanów i mórz.

W ramach Oceanu Atlantyckiego wydzielono: Morze Arktyczne (obejmujące 8 mniejszych mórz), kilkanaście mórz w północnej części oceanu (w tym Bałtyk), Morze Śródziemne (obejmujące 10 mórz mniejszych), kilka mórz w południowej części oceanu i tzw. Amerykańskie Morze Śródziemne, obejmujące szeroko pojęte Karaiby. Kolejno omówiono Ocean Indyjski z jego kilkunastoma morzami i zatokami, poczynając od Kanału Mozambickiego (między Madagaskarem i kontynentem afrykańskim), na Wielkiej Zatoce Australijskiej kończąc. Znaczną część treści zajmuje opis Oceanu Spokojnego i jego ponad 30 mórz, zatok i cieśnin. Autor zajął się szczegółowo m.in. Indonezyjskim Morzem Śródziemnym, na które składa się 12 mniejszych mórz i zatok. Osobną uwagę poświęcono Oceanowi Antarktycznemu, na który składa się 8 mniejszych mórz przybrzeżnych, ciągnących się od dużego morza Weddela (południowy kraniec Atlantyku), aż po morze Rossa (południowy kraniec Pacyfiku).

Ostatni rozdział poświęcono niektórym szczególnym obszarom wszechoceanu, wymagających (zdaniem autora) odrębnego potraktowania. Dotyczy to np. mórz Sargassowego i Irmingera; stanowiących właściwie znaczną część Atlantyku Północnego, wód kanadyjskich Archipelagu Arktycznego ze znanym Przejściem Północno-Zachodnim, morza wattów, estuariów, ważniejszych cieśnin i kanałów morskich itd., wreszcie Morza Kaspijskiego.

Na zakończenie podano cenny, acz skromny słowniczek terminów geograficznych i oceanograficznych użytych w tekście. Zamieszczono wybór literatury wykorzystanej i uzupełniającej oraz atlasów. W załącznikach podano zestawienia: bilansu wodnego oceanów, bilansu soli w oceanie oraz skrajne wartości zasolenia mórz. Osobno znajdują się indeksy nazwisk i mórz — wymienionych w tekście.

Ten zwięzły i niezwykle cenny podręcznik oceanografii regionalnej jest prawdziwym źródłem wiedzy i informacji o oceanach i morzach świata dla szerokiego kręgu czytelników, nie tylko studentów odpowiednich kierunków kształcenia, z myślą o których był przede wszystkim pisany. Autorowi należą się słowa dużego uznania i podziękowania.

Zdzisław Mikulski

H a h n H. — M. *Das neue Bild vom Sonnensystem*. Franckh-Kosmos, Stuttgart 1992; ss. 142, rys. 106, w tym 75 barwnych.

Jest to nowy, popularnonaukowy album poświęcony zagadnieniom astronomicznym. Zawiera sto kilkadziesiąt ilustracji, w większości barwnych zdjęć, ukazujących specyfikę naszego układu słonecznego, oraz krótkie teksty komentujące poszczególne zagadnienia. Prezentowane obrazy zostały w większości wykonane przez teledetekcyjne systemy obrazujące, umieszczone na różnych sondach międzyplanetarnych i satelitach penetrujących układ słoneczny. Album ma ciekawy układ tematyczny. Autor porzucił tradycyjne podejście stosowane w innych tego typu wydawnictwach, w których na ogół omawiane są po kolei poszczególne planety układu słonecznego. W prezentowanym albumie mamy możliwość poznania specyfiki i zróżnicowania środowisk układu słonecznego. Tak więc ukazano tu niektóre aspekty atmosfer poszczególnych planet, wybranych form rzeźby, a szczególnie kraterów i wulkanów, a także budowę wewnętrzną planet. Odrębne zagadnienia, którym poświęcono nieco uwagi, to licznie występujące w układzie słonecznym księżyce towarzyszące planetom oraz tzw. pierścienie. Przypomniano również o — często umykających naszej uwadze — małych obiektach kosmicznych. Nie zapomniano oczywiście o tak specyficznym i ważnym środowisku, jak woda.

Album rozpoczyna *Prolog*, w którym pokrótce przedstawiono historię badań naszego układu słonecznego, a zwłaszcza jego aspektu planetarnego. Autor nazywa zbiór planet — rodzeństwem Ziemi. Zarysowano tu także ważniejsze momenty związane z historią odkrycia i badania księżyców, towarzyszących większości planet, a także takich osobliwości układu słonecznego, jak pierścieni i komet.

W rozdziale drugim omówiono zagadnienia związane z atmosferami, czy może lepiej byłoby powiedzieć — powłokami gazowymi, którymi otulone są prawie wszystkie planety. W krótkich komentarzach zwrócono uwagę na takie funkcje tych powłok, jak funkcja parasola chroniącego życie na Ziemi, czy też osłony cieplarnianej i deszczowni kwaśnych deszczów, jak na Wenus. Omówiono i zilustrowano niektóre zjawiska atmosferyczne, wyrażające się na obrazach w postaci kolistych stref, w których występują gwałtowne wiatry i burze oraz gigantyczne wiry (Jowisz). Opisano tu także projekt sondowania atmosfery Jowisza za pomocą kapsuły pomiarowej, która ma być dostarczona tam przez sondę międzyplanetarną.

Kolejne dwa rozdziały poświęcone są rzeźbie powierzchni niektórych planet, a zwłaszcza takim jej cechom, które w swej genezie mają pierwiastek kosmiczny. Są to kratery i wulkany. Pierwsze powstawały najczęściej w wyniku uderzeń meteorytów, drugie nawiązują do energii „uwięzionej" we wnętrzach planet. Zwrócono uwagę na podobieństwo kształtów tych form na różnych planetach. W rozdziale następnym przedstawiono różne cechy wewnętrznej budowy poszczególnych planet. Na poglądowych rysunkach podano porównanie ich struktury wewnętrznej.

Sporo miejsca poświęcono takim ciałom kosmicznym, jak księżyce. Przypomniano bezpośrednie badania Księżyca przez astronautów oraz pojazdy i sondy automatyczne, a także ciał tego typu krążących wokół Marsa, Jowisza, Saturna, Urana i Neptuna. W końcowych fragmentach tego rozdziału scharakteryzowano specyficzne cechy pierścieni towarzyszących Saturnowi, Jowiszowi, Uranowi i Neptunowi. Omówiono również różne drobne twory znajdujące się w naszym układzie słonecznym, takie jak asteroidy i komety.

Jeden z końcowych rozdziałów poświęcony został wodzie — powszechnej na naszej Ziemi, ale której ślady działalności na Marsie są dyskusyjne.

W albumie uwypuklono najnowsze wiadomości o naszym układzie planetarnym, które udało się zgromadzić w ostatnich latach dzięki sondom międzyplanetarnym. Album kończy zestawienie podstawowych danych poszczególnych planet oraz indeks rzeczowy.

Jan R. Olędzki

Hutter K., Blatter H., Ohmura A., *Climatic changes, ice sheet dynamics and sea level variations*. Zürcher Geographische Schriften, 37, Verlag der Fachvereine, Zürich 1990; ss. 83, rys. 38, tab. 8.

Prace Instytutu Geograficznego Wyższej Szkoły Technicznej w Zurychu wydawane są od 1981 r. W ciągu 10 lat ukazało się 37 tomów prac monotematycznych w językach niemieckim lub angielskim, rzadziej francuskim. Większość prac poświęcona jest zagadnieniom fizycznogeograficznym, zwłaszcza hydro-klimatycznym i glacjologicznym. A. Ohmura opublikował w 1981 r. ciekawą rozprawę na temat klimatu i bilansu energii tundry arktycznej, w 1984 r., m.in. wspólnie z K. Hutterem, atlas klimatu solarnego, klimatologii stosowanej (z W. Kirchoferem i H. Wannerem), w 1989 r. globalny bilans energii (z H. Gilgenem i M. Wildem). W 1985 r. ukazała się rozprawa H. Blattera na temat reżimu termicznego lodowców arktycznych. Jak zatem z tego krótkiego przeglądu wynika, autorzy recenzowanej publikacji o charakterze monografii mają znaczący dorobek naukowy w zagadnieniach, które poruszają w omawianej pracy.

Praca podzielona jest na 5 rozdziałów, w przybliżeniu o podobnej objętości. Na początku zajęto się ewolucją atmosferycznego dwutlenku węgla, potem w kolejności: klimatem jako systemem (ze zwróceniem szczególnej uwagi na zagadnienie efektu cieplarnianego), teorią epok lodowcowych, relacjami między pokrywami lodowymi i klimatem, i w końcowej części zmianami poziomu wód w morzach.

Szczegółowy opis obiegu węgla na Ziemi powiązano z systemem klimatycznym i bilansem energetycznym globu. Po zwięzłym wprowadzeniu do zagadnień fizyki efektu cieplarnianego przedstawiono historię atmosferycznego dwutlenku węgla podczas dwóch ostatnich zlodowaceń i interglacjałów, a także przeanalizowano zmiany ilościowe tego związku w okresie szczególnej industrializacji (XIX i XX wiek). Tzw. „gazy cieplarniane" to głównie para wodna i CO_2 oraz O_3 (ozon troposferyczny), N_2O (tlenek azotu) i metan (CH_4).

Autorzy odwołują się do hipotezy Milankoviča, z pomocą której — ich zdaniem — można dość poprawnie tłumaczyć zjawiska zlodowaceń na naszym globie. Analizy rdzeni z czasz lądolodów i osadów dennych morskich wskazują na duże wahania zawartości CO_2 i izotopu tlenu ($\delta^{18}O$) w przeszłości historycznej Ziemi i równocześnie znaczne korelacje z klimatem. Dyskutowany jest przebieg scenariuszy zawartości CO_2 w nieodległej przyszłości, m.in. jako rezultat rosnącego zapotrzebowania na energię, oraz możliwości prognozowania zmian klimatycznych za pomocą modeli. Autorzy podkreślają ogólną zgodność poglądów w gronie naukowców zajmujących się tą problematyką, że wpływy antropogeniczne wzmagają efekt cieplarniany prowadzący do globalnego ocieplenia.

Pokrywy lodowe reagują na zmiany klimatu, ale sposób i zakres reakcji zależą m.in. od tego, czy lód spoczywa na stałym lądzie, czy też utrzymuje się na przybrzeżnej płyciźnie. Różnice czasu reakcji są kilkunastokrotne (lód na wodzie jest podatniejszy i reaguje szybciej). Zagadnieniem otwartym pozostaje stabilność czasz lodowych podpieranych przez lody przybrzeżne.

Zmiany poziomu wód w morzach i oceanach, od pewnego czasu niepokojąco rosnące, są rozpatrywane w łączności z różnymi czynnikami klimatycznymi, ale także z uwzględnieniem gęstości wody morskiej, jej zasolenia, temperatury, bilansem masy lodowców i lądolodów. Autorzy podkreślają, jako niezmiernie istotne dla nauki, dokładne określanie czasu przebywania wody w poszczególnych fazach jej obiegu na globie.

Omawiana praca przedstawia osiągnięcia własne autorów, jak i obficie cytowane rezultaty innych badaczy. Liczący sto kilkadziesiąt pozycji spis literatury zawiera poza kilkoma przypadkami (wybitne dzieło Stockwella z 1873 r. i kilka prac Milankoviča z lat 1920–1957) najnowsze publikacje.

Jerzy Cyberski

Meyers Kleines Lexikon. Meteorologie. Meyers Lexikonverlag, Mannheim — Wien — Zürich 1987; ss. 496, rys.

Słownik meteorologiczny opublikowany przez wydawnictwo Meyersa, specjalizujące się w tego rodzaju pozycjach, jest dziełem kilkuosobowego zespołu redakcyjnego, na którego czele stoi prof. Hans

Schirmer, wieloletni kierownik działu klimatologii Niemieckiej Służby Meteorologicznej. Pozostali redaktorzy to prof. Werner Buschner z Uniwersytetu we Frankfurcie nad Menem oraz Albert Cappel, Hans Matthäus i Max Schlegel — dyplomowani meteorolodzy z Niemieckiej Służby Meteorologicznej.

Właściwy słownik i wcześniejsze objaśnienia stosowanych skrótów i symboli poprzedza artykuł drugiego z redaktorów, prof. W. Buschnera o problemach przewidywania pogody. Autor pisze m.in. o metodach prognozowania pogody — synoptycznej i numerycznej, o automatyzacji opracowania prognoz, a także o wykorzystaniu satelitów meteorologicznych.

Hasła, w liczbie ok. 3800, ułożone w porządku alfabetycznym, dotyczą przede wszystkim terminów z zakresu meteorologii, fizyki atmosfery i klimatologii; omówiono jednostki pomiarowe z tego zakresu i przyrządy, podstawowe charakterystyki statystyczne, a także skróty nazw międzynarodowych organizacji i programów badawczych, są także nieliczne hasła z zakresu historii meteorologii (np. Societas Meteorologica Palatina). Układ i druk jest czytelny: hasła są wydrukowane grubą, większą czcionką, odróżniającą się więc wyraźnie od tekstu; terminy pochodne, pojawiające się w tekście, lecz nie stanowiące odrębnych haseł, są wydrukowane pogrubioną czcionką o tym samym kroju co tekst. Niektóre wyróżnienia podano kursywą. W tekstach znajdują się liczne odsyłacze do innych haseł, wiążących się lub uzupełniających. Hasła są podane po niemiecku, ale można znaleźć też trochę haseł w języku angielskim; przede wszystkim są to nazwy organizacji międzynarodowych i programów badawczych, ale także nieliczne pojęcia oznaczające zjawiska i procesy. Część z nich, jak np. *cloud-cluster* czy *fallout* najwyraźniej nie ma swoich odpowiedników niemieckich, jeśli zaś taki odpowiednik istnieje, to angielski termin stanowi hasło odsyłaczowe (np. *planetary boundary layer*).

Na końcu osobno zamieszczono rejestr nazwisk występujących w hasłach. Przy każdym nazwisku podano dziedzinę działalności, narodowość, rok urodzenia i śmierci. Szkoda, że tę część słownika potraktowano zupełnie marginesowo, poświęcając każdemu z uczonych zaledwie jeden wiersz. Zasada, na jakiej ustalono ten spis, spowodowała, że nie ma tu pewnych nazwisk, których obecność byłaby zupełnie oczywista w każdym słowniku meteorologicznym uwzględniającym także hasła biograficzne. Ten zakres wiadomości nie stanowi jednak przedmiotu powszechnych zainteresowań, zatem poprzestanie tylko na spisie nazwisk nie umniejsza wartości zasadniczej części słownika.

Słownik ten bowiem zawiera obszerne wiadomości nie tylko z zakresu szeroko rozumianej meteorologii, ale również nauk z nią powiązanych i pomocniczych (np. statystyki), podanych zwięźle, ale zrozumiale i w sposób czytelny. Tekst wzbogacają liczne rysunki i kilka kolorowych plansz. Słownik ten jest cenną pozycją dla różnego rodzaju użytkowników, zarówno dla zawodowych meteorologów i klimatologów, jak i przedstawicieli innych dziedzin, w których pogoda i klimat stanowią istotny czynnik. Nieocenioną pomoc może też stanowić w pracy dydaktycznej.

Jest także kolejnym argumentem za koniecznością opracowania polskiego słownika meteorologicznego.

Urszula Kossowska-Cezak

Banfield E. *Barometer makers and retailers, 1660–1900*. Baros Book, Trowbridge 1991; ss. X + 246, rys. 27.

Edwin Banfield, entuzjasta i kolekcjoner antycznych barometrów, autor obszernych opracowań na ten temat[1], opublikował następną pozycję z tego zakresu: spis twórców i sprzedawców barometrów z terenu Anglii, Szkocji, Walii i Irlandii z okresu od 1660 do 1990 r. Spis ten sięga więc niemal początków istnienia tego niezwykle ważnego w meteorologii przyrządu pomiarowego. W kolejności alfabetycznej autor podaje ponad 4000 nazwisk konstruktorów barometrów i zajmujących się ich handlem. Przy każdym nazwisku podane są daty ich działalności (w wielu przypadkach jedynie przybliżone) i miejsce, przy części nazwisk można jednak znaleźć więcej informacji: rodzaj budowanych przyrządów, dokładny adres itp., a przy niektórych dokładniejsze biogramy. Można z nich dowiedzieć się np., że Robert Boyle (1627–1691) pierwszy sprowadził barometr do Anglii, a w swoim domu skonstruował barometr

[1] Patrz recenzje w *Przeglądzie Geofizycznym*, 1991, z. 4.

wodny, Robert Hook (1635–1703) zaś dokonał udoskonaleń w budowie barometru, jak też skonstruował pierwszy w Anglii higrometr. Aczkolwiek książka została opracowana na potrzeby kolekcjonerów i antykwariuszy, nie jest pozbawiona wartości naukowej, stanowiąc cenny przyczynek do poznania historii meteorologii. Wartość tę wzbogacają ilustracje: reprodukcje portretów, przyrządów, reklam niektórych firm itp.

Urszula Kossowska-Cezak

Hambrey M., Alean J. *Glaciers*. Cambridge University Press. Cambridge 1992; ss. 208, rys. i fot. 140 (w tym 110 kolor.), tab.

Książka ma charakter monografii, napisanej przystępnie, bogato ilustrowanej — w większości zdjęciami kolorowymi, wykonanymi przez autorów w różnych regionach geograficznych. Pierwszy z autorów — Brytyjczyk — był członkiem wielu ekspedycji naukowych i zebrał obfity materiał zdjęciowy. Drugi autor — Szwajcar związany z Politechniką Zurychską — jest bystrym obserwatorem i fotografem form krajobrazowych. Główny nacisk położono w książce na ilustrację fotograficzną, chyba nawet zbytnim kosztem ilustracji schematycznych, które przecież lepiej pokazują dynamikę procesów. Jest to przeto książka pomocnicza dla specjalizujących się w tematyce glacjologicznej.

W kilku rozdziałach omówiono wybrane zagadnienia występowania lodowców na kuli ziemskiej, poczynając od rodzaju lodowców, ich form pierwotnych, do postaci obecnej. Nieco miejsca poświęcono strukturze lodowców oraz większym zespołom lodowcowym wraz z próbą ich klasyfikacji. Na uwagę zasługuje omówienie wahań lodowców; jest to zwykle głównym przedmiotem glacjologii. Zajęto się tu przede wszystkim lodowcami alpejskimi podając przykłady postoju lodowców w kolejnych fazach. Interesujący jest też załączony schemat zmian w ostatnich 200 latach lodowców Alaski. W tabeli przytoczono przykłady przesuwania się lodowców w różnych regionach, sięgające nawet kilku kilometrów rocznie (Jacobshavn Isbrae na Grenlandii). Ten rozdział jest nader bogato ilustrowany zdjęciami kolorowymi i schematami.

Odrębny rozdział traktuje o „lodzie i wodzie"; pokazano tu m.in. cały „system drenarski" na lodowcach, drogi i formy odpływu, kształtowanie się rzek lodowcowych. Wiąże się z tym tworzenie się gór lodowych, pokazane na przykładzie lodowców antarktycznych. Z kolei zmiany krajobrazowe to kolejny rozdział poświęcony procesom erozyjnym i sedymentacyjnym w obrębie lodowców.

Monografia zawiera też rozdział o życiu na terenach lodowcowych; dotyczy to zwłaszcza świata zwierzęcego, które wbrew powszechnemu przekonaniu jest dość bogate, a także urokliwego świata roślinnego, szczególnie w okresie kwitnienia, niezwykle rozmaitego na lodowcach alpejskich. Ostatni rozdział przynosi garść informacji o klimacie i cywilizacji obszarów lodowcowych; podano tu przykłady Grenlandii i Antarktyki, łącznie ze zmianami temperatury powietrza i zawartości dwutlenku węgla w ciągu 40 mln lat. Można tu też znaleźć wzmianki o lawinach oraz zniszczeniach spowodowanych intensywnym przesuwaniem się lodowców. Wspomniano także o ruchu turystycznym i przyszłości obszarów lodowcowych.

W zakończeniu zamieszczono zwięzły słowniczek pojęć i terminów spotykanych w tekście oraz skorowidz rzeczowy. Niezbyt bogata literatura glacjologiczna wzbogaciła się niewątpliwie o nową cenną pozycję.

Zdzisław Mikulski

Sea-level change. Studies in geophysics (red. R. R. Revelle). Geophysics Study Committee, Commission on Physical Sciences and Resources, National Research Council. National Academy Press, Washington 1990; ss. XII + 234, mapy, rys., fot.

Książki z serii *Studies in geophysics* zapoczątkowało wydanie w 1977 r. pracy zbiorowej *Energy and climate*. Od tego czasu ukazało się 17 bardzo ciekawych i na doskonałym poziomie opracowanych dzieł. Przedstawiano w nich najczęściej stan wiedzy w określonych dyscyplinach geofizycznych, a także wybrane

aktualne problemy. Tematyka „studiów" oscylowała od tektoniki i mineralogii, wulkanizmu i trzęsień ziemi, elektryczności ziemskiej, zmian klimatycznych, zasobów wodnych i ich dysponowania, po zagadnienia technologiczne w badaniach naszej planety.

Książka zawiera 14 opracowań naukowych przygotowanych na sympozjum Amerykańskiej Unii Geofizycznej. Od dość dawna zmiany poziomu wód w morzach i oceanach przestały być problemem zajmującym umysły wąskiej grupy oceanologów, zwłaszcza gdy wyniki wieloletnich obserwacji mareograficznych wskazują na zdecydowany wzrost poziomu.

W części pierwszej, najobszerniejszej, liczącej 8 opracowań, przedstawiono rezultaty analiz różnorakich notowań poziomu wód morskich. Przeglądowy artykuł napisany przez znanego specjalistę w tej dziedzinie Tima P. Barnetta z Instytutu Oceanograficznego Scrippsa Uniwersytetu Kalifornijskiego zawiera m.in. wyniki obliczeń średnich rocznych przyrostów poziomu morza według różnych autorów. Zależnie od liczby stacji mareograficznych i długości serii obserwacyjnych wartości te wyliczono na 0,5 mm/rok (Thorarinsson 1940 r.), 1,12 mm/rok (Lisitzin 1958 r.), 1,2 mm/rok (Faibridge i Krebs 1962 r.), i 1,43–2,27 mm/rok (Barnett 1984 r.). Współczynniki kierunkowe wskazują na niepokojąco szybki ich wzrost w zbiorach danych z ostatnich dziesiątek lat. Poziom w morzu i topografię jego zwierciadła w powiązaniu z cyrkulacją wód przedstawił w interesującym opracowaniu K. R. Thompson. Wieloletnie serie pomiarów poziomu mórz stanowią interesujący materiał statystyczny. Poza trendami, metodami analizy spektralnej (łącznie z filtracją danych) otrzymano informacje o występowaniu okresowych wzrostów i spadków poziomu wód. Długości tych okresów, ze względu na siły, które je generują, a także położenie stacji, są bardzo zróżnicowane (W. Sturges).

W. R. Peltier i R. K. Matthews zajęli się w oddzielnych opracowaniach poziomem mórz w przeszłości dość odległej: pierwszy z nich w czasie deglacjacji poplejstoceńskiej, a drugi w okresie czwartorzędu. Nowe techniki badawcze umożliwiają dość dokładne oznaczanie wieku (jak choćby z wykorzystaniem ^{14}C, ^{230}Th i ^{231}Pa, $\delta^{18}O$). Dzięki nim można znaleźć ślady dawnego brzegu morskiego (A. L. Bloom i N. Yonekura), a zatem i poziomu, oraz określać tempo zmian poziomu wód w przeszłości. Dużą pomoc w badaniach zmian poziomu morza w przeszłości geologicznej świadczą metody stratygraficzno-sejsmiczne (N. Christie-Blick, G. S. Mountain, K. G. Miller), a także badania zjawisk eustatycznych i epejrogenetycznych (C. G. A. Harrison).

W części drugiej, zatytułowanej *Procesy i sprzężenia*, W. W. Hay i M. A. Leslie analizują związki między eustatycznymi fluktuacjami poziomu morza a globalnymi zasobami wód podziemnych, M. F. Meier zaś poddaje ocenie rolę lodów kontynentalnych na zmiany poziomu mórz w przeszłości i przyszłości. Najczęściej jednak, zwłaszcza obecnie, próbuje się tłumaczyć wzrost poziomu mórz zmianami klimatycznymi (E. J. Barron i S. L. Thompson) lub po prostu zwiększeniem zawartości dwutlenku węgla w atmosferze (E. T. Sundquist). Znacznie mniej dotąd pisano o wpływie zmian temperatury mórz na ich poziom (temat ten podjął D. Roemmich), choć powszechnie wiadomo, że objętość danej masy wody zmienia się wraz z temperaturą.

W części trzeciej W. Munk, R. Revelle, P. Worcester i M. Zumberge zarysowują strategię przyszłych pomiarów i badań zmian poziomu mórz z uwzględnieniem m.in. zmian termicznych, ciśnienia hydrostatycznego, stratyfikacji gęstościowej, grawitacji, ciśnienia atmosferycznego na powierzchni mórz.

Omawiane dzieło, zapewne z uwagi na aktualną tematykę, znajdzie wielu czytelników w gronie geofizyków i oceanologów, a być może także wśród specjalistów innych dziedzin naukowych. Jest to bowiem opracowanie warte bliższego poznania.

Jerzy Cyberski

Godin G. *Tides*. Centro de Investigación Cientifica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada BC 1988; ss. 290, rys. 124, tab. 46.

Pływy są jednym z bardziej interesujących zjawisk występujących na powierzchni mórz i oceanów. Charakteryzują się dużą regularnością i mocą, co powoduje, że wywierają znaczny wpływ na gospodarkę i działalność człowieka w strefie brzegowej. Zainteresowanie ludzi tym fenomenem natury sięga starożytności. Jednakże dopiero rozwój nauk ścisłych w ostatnich dwóch wiekach pozwolił na opisanie

tego zjawiska w sposób zadowalający. Książka G. Godina stanowi kompedium współczesnej wiedzy dotyczącej pływów.

W trzech pierwszych rozdziałach autor rozpatruje wzajemne oddziaływanie grawitacyjne Księżyca, Słońca i Ziemi decydujące o powstawaniu pływów w oceanie. Wyprowadza wzory na siłę pływotwórczą korzystając m.in. z pojęcia potencjału grawitacyjnego. Omawia na przykładach zmiany poziomu powierzchni morza wywołane przez pływy (pływy pionowe) oraz prądy pływowe (pływy poziome). Na koniec zamieszcza klasyfikację pływów.

Faktem jest, że pływy oceaniczne są zjawiskiem okresowym. Podstawową metodą ich badania jest analiza harmoniczna oparta na szeregach Fouriera, którą autor omawia w rozdziale czwartym — zarówno w odniesieniu do pływów pionowych, jak i poziomych.

Rozdział piąty w całości poświęcony jest analizie matematycznej zjawisk pływowych. Przedstawiono tam równania hydrodynamiczne opisujące fale długie, które następnie rozwiązywane są przy uwzględnieniu dodatkowych warunków wynikających np. z kształtu rozpatrywanego obszaru, tarcia dennego. Rozdział kończy analiza prądów pływowych w basenach o zmiennej głębokości. Osobno rozważa autor (rozdział szósty) pływy występujące w rzekach, które jak wiadomo — przyjmują formę fal postępowych przemieszczających się w górę rzeki oraz charakteryzują się dużą nieregularnością. Następny rozdział poświęca autor energii, jaką niosą ze sobą pływy oraz jej wykorzystaniu w gospodarce.

Wnikliwa analiza pomiarów otrzymanych przy użyciu przyrządów rejestrujących pływy wskazuje, że mogą być one zakłócane. Powodem tych zakłóceń są dodatkowe drgania związane z występowaniem w badanym rejonie sejsz, wezbrań sztormowych, fal tsunami itp. W celu wydzielenia składowych pływowych konieczne staje się odrzucenie nieinteresujących częstości. Źródła oraz sposoby usuwania zakłóceń przedstawia autor w rozdziale szóstym. Mając odpowiednio przygotowany zbiór danych można go wykorzystać do tworzenia tzw. map kotydalnych, które są bardzo pomocne przy dalszej analizie zjawisk pływowych. Przykładowe mapy wybranych rodzajów pływów i obszarów wodnych, sposób ich interpretacji oraz porównanie otrzymanych wyników z wynikami modelowymi zawarte zostały w kolejnym rozdziale. W ostatnim, dziesiątym rozdziale autor dokładniej rozpatruje ruch układu ciał Ziemia — Księżyc. Książkę zamykają dodatki, w których rozwinięte są bardziej szczegółowo niektóre problemy zawarte w zasadniczej części książki oraz słownik podstawowych pojęć związanych z pływami.

Książka G. Godina stanowi bardzo interesującą pozycję w bibliografii dotyczącej pływów. W sposób przystępny, korzystając w zasadzie z podstaw analizy matematycznej, autor opisuje i wyjaśnia zjawiska pływowe. Książka ta godna jest polecenia czytelnikom.

Ewa Jarosz

Marine Sciences. No. 1. Uniwersytet Szczeciński, Zeszyty Naukowe No. 86, Szczecin 1992; ss. 120.

Ostatnio ukazał się pierwszy numer *Marine Sciences*, przygotowany przez zespół pracowników Instytutu Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego pod redakcją prof. dra hab. Stanisława Musielaka. Zgodnie z notką redakcyjną w *Marine Science* publikowane będą oryginalne prace dotyczące morza i strefy brzegowej, głównie z szeroko pojętej dziedziny geografii morza.

W pierwszym numerze zostały przedstawione artykuły stanowiące przegląd problematyki badawczej Instytutu Nauk o Morzu i będące prezentacją już osiągniętych wyników. Są tu dwie prace Janiny Musielak, wprowadzające w problematykę geografii ekonomicznej morza, praca Andrzeja Osadczuka podsumowująca dotychczasowe wyniki badań bałtyckich konkrecji żelazisto-manganowych, praca Stanisława Piotrowskiego dotycząca liczebności populacji, zasobów i chemicznych składników muszli *Dreissena polymorpha* z jeziora Dąbie. Zespół autorów — Zbigniew Piesik, Andrzej Osadczuk, Stanisław Piotrowski i Wawrzyniec Wawrzyniak — przedstawił interesującą koncepcję ochrony brzegu Helu poprzez budowę sztucznych rew ze zużytych opon samochodowych. Halina Kowalewska i Adam Krężel przedstawili wyniki badań zachmurzenia nad południowym Bałtykiem, z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych. Zastosowanie metod teledetekcji, w połączeniu z gruntowną wiedzą geomorfologiczną, umożliwiło Kazimierzowi Furmańczykowi, Stani-

sławowi Musielakowi i Jerzemu Prajsowi opracowanie i przedstawienie kartograficzne charakteru dynamiki brzegu morskiego. Ta zespołowa praca ma doniosłe znaczenie tak regionalne, jak i metodyczne, warta jest szerokiego rozpropagowania.

Stosowanie nowoczesnych metod wymagało niewątpliwie dokonania znacznego wysiłku organizacyjnego, tak trudnego w obecnych warunkach ekonomicznych, oraz odpowiedniego przygotowania merytorycznego pracowników. Na podstawie pierwszego numeru *Marine Science* z pewnością można stwierdzić, że w Szczecinie powstał młody, prężny i obiecujący zespół z ciekawie zakreśloną problematyką badawczą — o dużej przydatności dla gospodarki tego regionu. Należy oczekiwać dalszych numerów życząc redakcji i autorom zwiększenia nakładu oraz poprawienia jakości publikowanych zdjęć.

Stanisław Rudowski

Falkland A. (red.) *Hydrology and water resources of small islands: a practical guide*. Studies and Reports in Hydrology, 49, UNESCO, Paris 1991; ss. 435, rys., tab.

Efektem współpracy w Międzynarodowym Programie Hydrologicznym (IHP-III, Project 4.6) jest okazałe dzieło, które wyszło pod redakcją A. Falklanda (Australia), we współpracy z E. Custodio, A. Diaz Arenas i L. Simlera. Praca grupy 25 autorów złożyła się na tę wyjątkową publikację.

Już samo pojęcie *wyspa* większości naszych czytelników wydaje się pojęciem dość egzotycznym, a zagadnienie hydrologii tych obiektów co najmniej trudne do wyobrażenia. I choć w tytule zawarto, że jest to praktyczny przewodnik, to w odbiorze czytelnika wrażenie jest znacznie bogatsze, mamy bowiem przed sobą niezwykłe studium na temat wysp. W rozdziale pierwszym zawierającym ogólną charakterystykę wysp, zdefiniowano podstawowe pojęcia, kryteria i problemy. W drugim rozdziale zwięźle scharakteryzowano uwarunkowania występowania słodkich wód na wyspach (klimatyczne, geologiczne i geomorfologiczne, glebowe i wegetacyjne).

Bardzo obszerny jest rozdział trzeci, traktujący o hydrologii małych wysp (w nim podstawowe wiadomości z hydrometeorologii i procesów hydrologicznych). Dużo uwagi poświęcono obliczaniu składników bilansu wodnego wysp. Licznie cytowane przykłady ukazują bardzo duże zróżnicowanie warunków na wybranych przykładowo wyspach. Na niektórych z Wysp Kanaryjskich współczynnik odpływu wynosi zaledwie 0,02, niewiele więcej na Malcie (0,06), a na Wyspach Hawajskich 0,44, w Arktyce zaś jest bliski 1,0! Niezwykle wysokie wartości odpływu jednostkowego są obserwowane w czasie wezbrań w rejonach tropikalnych, osiągające np. w zlewni Halawa (12 km^2) na wyspie Molokai (w archipelagu Hawajów) 63,5 $m^3/s \cdot km^2$. Wiele miejsca w tym rozdziale przeznaczono na zagadnienia hydrogeologiczne. Wszak wody podziemne (choćby z uwagi na brak, rzadkość lub niewielkie zasoby wód powierzchniowych na wyspach) stanowią niezmiernie ważne źródło zaopatrzenia ludności.

W klasycznej postaci podręcznikowej strefę wód słodkich na wyspie można wyrazić formą dysku, którego grzbiet pokrywa się mniej więcej z linią brzegową, a pod jego spodem przylega warstwa tranzytowa — mieszanina z wodami słonymi, morskimi. W zależności od relacji między elementami bilansu wodnego kształtuje się grubość „dysku" (a zatem zasoby wód podziemnych) oraz natężenie przepływu w dolnej jego części (przemieszczanie wód ku strefie brzeżnej). Wynika stąd wniosek, że zachowanie równowagi hydrostatycznej między wodą słodką i słoną jest problemem nadzwyczaj ważnym, bowiem beztroskie zwiększenie poborów wód podziemnych wywołuje szybkie podpływanie wód morskich i burzenie w miarę stabilnej warstwy tranzytowej.

Kolejne 2 obszerne rozdziały traktują o zasobach wodnych i ich monitoringu oraz eksploatacji wód i ich zagospodarowaniu. Tutaj w najwyższym stopniu uwidocznione są problemy, z którymi mieszkańcy wysp spotykają się na co dzień. Jednym z nich jest przeludnienie, będące często efektem atrakcyjności wyspy. Gęstość zaludnienia osiąga czasami niepokojąco olbrzymie rozmiary, np. Singapur 4770 mk/km^2, Hong Kong 15790 mk/km^2, a Male (na Oceanie Indyjskim w archipelagu Malediwów) aż 30770 mk/km^2. Ograniczone zasoby wodne kształtują gospodarcze oblicze wysp. Najczęściej brak wody z góry eliminuje lokowanie przemysłu wodochłonnego; również bezzwrotne pobory wody muszą być ograniczone (np.

zaopatrywanie statków w wodę). Oczyszczanie ścieków i utylizacja odpadów są tam znacznie trudniejsze do rozwiązania.

W przypadku braku możliwości zaspokojenia potrzeb wodnych mieszkańców wysp z naturalnych, tradycyjnych źródeł lokalnych (wody podziemne i powierzchniowe), pozostaje jeszcze przechwytywanie wód opadowych, odsalanie wód morskich i importowanie wody. Zbieranie opadów jest najczęściej mało efektywne i bardzo kosztowne (budowa urządzenia, uzdatnianie wody i inne); pozyskanie 1 m^3 wody przekracza z reguły 20 dolarów USA. Odsalanie, w zależności od przyjętej metody, dostosowanej do możliwości finansowych mieszkańców, a także warunków klimatycznych oraz ceny surowców energetycznych (chyba że wykorzystuje się energię słoneczną), jest tańsze i wynosi ok. 1,1–5 dolarów USA, import wody zaś, również stosowany, pod względem kosztów jest podobny do odsalania. Cena wody zależy od odległości transportu i wielkości przewozu. Najdroższy jest import słodkiej wody butelkowanej (230–320 dolarów USA za 1 m^3).

Wiele interesujących wiadomości zawartych jest w ósmym rozdziale. Zebrano tu szczegółowe opisy warunków klimatycznych, geologicznych, hydrologicznych, gospodarczych i in. dotyczące 13 wysp lub archipelagów. W załączniku zestawiono podstawowe dane (m.in. współrzędne geograficzne, powierzchnię, liczbę mieszkańców, opady, temperaturę) ponad 400 wysp.

Omawiane dzieło jest imponujące. Zebrano w nim niezwykłą ilość informacji, szczegółowych charakterystyk zjawisk, procesów i obiektów, każdy omawiany problem jest ilustrowany i dokumentowany. Rola dzieła jako przewodnika jest spełniona bardzo dobrze poprzez przykłady rozwiązań; osoby pragnące jeszcze pogłębić swoją wiedzę na temat hydrologii wysp mogą to uczynić przez dalsze studia literatury z tego zakresu wykorzystując bibliografię, która liczy ponad 1000 pozycji!

Jerzy Cyberski

C u n n a n e C. *Statistical distribution for flood frequency analysis*. World Meteorological Organization, Operational Hydrology Report No. 33, WMO No. 718, Geneva, 1989; ss. 73+58, tab., rys.

W początkach bieżącego stulecia zaczęły się rozwijać metody statystycznej analizy częstotliwości wezbrań na podstawie modeli operujących na ciągach maksymalnych przepływów rocznych (ang. *annual maximum* — AM) oraz ciągach przepływów rocznych, które przekraczają poziom progowy (ang. *partial duration* — PD).

We wstępie omawianej publikacji zostały zdefiniowane i porównane modele AM i PD, a następnie dla rozważanego ciągu danych została określona w postaci relacji, Q — T, zależność pomiędzy średnim okresem powtarzalności, T, i funkcją rozkładu prawdopodobieństwa wielkości wezbrania, $F(Q)$.

Z kolei omówiono metody estymacji kwantyli rozkładu prawdopodobieństwa wezbrania na podstawie danych pojedynczego profilu wodowskazowego i/lub regionu. Obejmuje to efektywne i odporne (ang. *robust*) metody, które opierają się na badaniu regionalnie uśrednionych ważonych momentach prawdopodobieństwa (ang. *probability weighted moments* — PWM); a potem podejście bayessowskie i w końcu regionalnie estymowany dwuskładnikowy rozkład wielkości ekstremalnych (ang. *two component extreme value distribution* — TCEV) o dystrybuancie

$$F(x)=exp\,[-\lambda_1 exp\,(-x/\Theta_1)-\lambda_2 exp\,(-x/\Theta_2)].$$

Następnie przedstawiono własności estymatorów, w tym efektywność i odporność konkurencyjnych modeli, oraz przedyskutowano wpływ na estymatory kwantyli jednorodności regionalnej, czasowej współzależności w ciągu danych i przestrzennej zależności między ciągami danych.

Omówiono metody doboru modelu — rozkładu prawdopodobieństwa wskazując, że konwencjonalne testy jakości dopasowania nie najlepiej się do tego nadają. Zrelacjonowano badania prowadzone w niektórych krajach nad doborem „najlepszego" rozkładu ciągów AM i PD.

Ponadto przedstawiono wyniki rozwijanych w ostatnich latach badań behawioralnych, które są prowadzone na podstawie charakterystyk statystycznych uzyskanych jednocześnie dla prób danych wezbraniowych w kilku regionach i dla prób wygenerowanych z możliwych rozkładów. Okazuje się, że wszystkie tradycyjnie używane rozkłady nie wykazują rzeczywistego zachowania właściwego danym

hydrologicznym. W takim ujęciu sprawdzają się jedynie ostatnio spopularyzowane rozkłady TCEV i Wakeby; ten ostatni rozkład jest zapisywany w postaci uwikłanej

$$x=m+a\{1-[1-F(x)]^b\}-c\{1-[1-F(x)]^{-d}\}.$$

gdzie $F(x)$ jest dystrybuantą zmiennej x, natomiast a, b, c, d i m są parametrami.

Badania odpornościowe wykazały, że rozkład Wakeby i ogólny rozkład wielkości ekstremalnych (ang. *general extreme value distribution* — GEV) o dystrybuancie

$$F(x)=exp\left\{-\left[1-k\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]^{1/k}\right\}, \qquad \begin{cases} u+\alpha/k\leqslant x\leqslant\infty, \text{ przy } k<0 \\ -\infty<x\leqslant u+\alpha/k, \text{ przy } k>0 \end{cases}$$

są odporne i najmniej czułe na zmiany w nieznanym modelowanym rozkładzie zbiorowości ogólnej, jeśli są one używane regionalnie, a ich parametry estymowane metodą PWM. Natomiast logarytmiczny rozkład Pearsona III typu (LP3) o parametrach estymowanych metodą momentów jest najmniej odporny i wyjątkowo czuły na zmiany w nieznanym rozkładzie zbiorowości ogólnej spośród wszystkich tzw. rozkładów standardowych.

W przypadku stosowania rozkładów Wakeby i GEV, ich parametry powinny być estymowane, jeśli to możliwe, regionalnie. Estymaty ich parametrów metodą PWM — chociaż mniej efektywne od metody największej wiarygodności — są niemal nieobciążone, łatwe do uzyskania i na ogół niepodatne na wpływ tzw. danych odstających.

W publikacji podano wyniki ankiety na temat rozkładów używanych przez narodowe służby hydrologiczne do analizy częstotliwości ekstremalnych wartości zjawisk opadu i przepływu. Z ankiety wynika, że największą popularnością cieszą się rozkłady Fishera-Tippetta I typu i logarytmiczno-normalny. Zaleca się szacowanie kwantyli wezbrań metodą „index flood" (*index flood method*) (Dalrymple, 1960; NERC, 1975)[1] na podstawie łącznych danych w profilu i regionie.

Wypada podkreślić, że recenzowana praca zawiera całościowe i aktualne podsumowanie naszej wiedzy odnośnie do rozpatrywanej problematyki, tym samym gorąco ją polecamy wszystkim zainteresowanym.

Henryk T. Mitosek

Reimann J. *Mathematical statistics with application in flood hydrology*. Akademiai Kiado, Budapest 1989; ss. 330, rys., tab.

Autor postawił sobie za cel wprowadzenie w techniki modelowania wezbrań przy wykorzystaniu aparatu rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. Sądzimy jednak, że wezbrania, które występują w tytule książki, a także inne zjawiska hydrologiczne, stanowiły jedynie pretekst do napisania elementarnego wykładu rachunku prawdopodobieństwa i metod statystycznych. Zjawiska hydrologiczne służą do ilustrowania prowadzonego wykładu. Od czytelnika wymaga się znajomości kursu analizy matematycznej i podstaw kombinatoryki na poziomie elementarnym.

Książka została podzielona na 3 części. W pierwszej, która obejmuje podstawy rachunku prawdopodobieństwa, zostały omówione pojęcia zdarzenia losowego i jego prawdopodobieństwa, aksjomaty prawdopodobieństwa i niezależności zdarzeń. Następnie zdefiniowano zmienną losową i jej rozkład prawdopodobieństwa. Jak zwykle, zostały przedstawione typowe rozkłady prawdopodobieństwa. Część tę kończy wprowadzenie do zagadnień łańcuchów i procesów Markowa.

Część druga została poświęcona wnioskowaniu statystycznemu. Rozpoczęto od omówienia próby losowej, tworzonej na niej statystyki i rozkładu prawdopodobieństwa statystyki; wprowadzono elementy teorii statystyk pozycyjnych, a następnie zajęto się teorią estymacji. Wśród metod estymacji wymieniono

[1] Dalrymple T., 1960, *Flood frequency method*. USGS Water Supply Paper 1543-A. NERC, 1975, *Flood studies report*. Nat. Environ. Res. Council, vol. 4.

jedynie metodę momentów i największej wiarygodności. Na zakończenie przedstawiono testowanie hipotez statystycznych.

W części trzeciej, zatytułowanej *Zależności losowe pomiędzy zmiennymi losowymi*, przedstawiono analizę korelacyjną i metody regresyjne.

Jak już stwierdzono, książka zawiera podstawowy wykład rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. Jednak trudno jest ją zakwalifikować jako podręcznik tych zagadnień i zalecać adeptom hydrologii. Ponadto dużą jej wadą jest brak ćwiczeń i zadań.

Wśród istniejących, a wydanych już przed 20 laty, podręczników metod statystycznych w hydrologii (np. Kaczmarek, 1970; Yevjevich, 1972a, 1972b[1]) niczym nadzwyczajnym się nie wyróżnia. Nie wyróżnia się także wśród książek zawierających elementarny wykład rachunku prawdopodobieństwa i statystyki (np. Ross, 1984[2]). Nie ma w niej wielu zagadnień, które należało bezwzględnie omówić podnosząc problematykę wezbrań. Na przykład, czytelnik nie znajdzie tu zagadnień związanych z estymacją kwantyli przeływów maksymalnych, ani nowych propozycji dotyczących rozkładów prawdopodobieństwa, czy też metod estymacji parametrów, które są od jakiegoś czasu usilnie rozwijane w hydrologii stochastycznej (np. Cunnane, 1989[3]). Ponadto, chociaż trudno jest sobie wyobrazić obecnie pracę, w której nie poruszonoby zagadnień związanych z procesami stochastycznymi, to tu właśnie mamy z czymś takim do czynienia. Dlatego też trudno jest mi zalecać tę książkę hydrologom, na których zdawał się liczyć autor.

Henryk T. Mitosek

Nikanorow A. M., Żulidow A. W. *Biomonitoring mietałłow w priesnowodnych ekosistiemach*. Gidromietieoizdat, Leningrad 1991; ss. 312, rys. 61, tab. 68.

O wysokiej wartości wcześniej opublikowanej monografii (Nikanorow A. M.. Żulidow A. W., Pokrżewskij A. D. *Biomonitoring tiażołych mietałłow w priesnowodnych ekosistiemach*, 1985, Leningrad, Gidromietieoizdat) wypowiedzieli się liczni recenzenci na łamach światowych wydawnictw naukowych. Nowe opracowanie, dedykowane głównie biogeochemikom, hydrochemikom i ekologom zostało znacznie poszerzone i wzbogacone o wyniki najnowszych prac, zarówno obydwu autorów, jak i specjalistów zagranicznych. Zakreślona w tytule tematyka książki uwzględnia wyniki sprzężonej analizy ilości i migracji metali w słodkowodnych ekosystemach, a głównie w małych, naturalnych strumieniach i jeziorach. Taki rodzaj analizy pozwala wyprowadzać wiarygodne wskaźniki zarówno jakości wód, jak i kontrolować ich zmienność czasową. Potwierdzeniem dużego doświadczenia publikacyjnego obydwu autorów jest czytelny układ (działy, rozdziały, podrozdziały) prezentowanej książki oraz graficzna prostota wykresów ułatwiająca percepcję ich treści. Dział pierwszy poświęcono metodyce poboru prób organizmów wodnych i osadów oraz ich przygotowaniu do analiz laboratoryjnych. Do pobierania prób zalecane jest m.in. stosowanie narzędzi i pojemników wykonanych wyłącznie z mas plastycznych lub z kwarcu. Za nadzwyczaj istotne, ze względu na brak ujednoliconej metodyki przygotowywania prób, należy uznać wnikliwe i obszerne uwagi dotyczące postępowania przy suchym i mokrym spalaniu (spopielaniu) materiału przeznaczonego do analiz ilościowych. Autorzy zalecają metody oznaczania zawartości 20 wybranych pierwiastków chemicznych zawartych w organizmach wodnych, osadach i w wodzie. Informacje o ogólnych zasadach zalecanych analiz zajmują kilkanaście stron tekstu; szczegółowy opis postępowania znajdzie czytelnik w cytowanych opracowaniach źródłowych. Dział drugi książki dotyczy szeroko pojmowanych zagadnień buforowości ekosystemów słodkowodnych. Za istotną i pilną autorzy książki uznają potrzebę wypracowania wskaźników charakteryzujących takie dozy metali, których wprowadzenie do ekosystemu wodnego nie zakłóci naturalnego charakteru jego funkcjonowania. Krytycznej ocenie poddano wszelkie próby wprowadzania ujednoliconych norm koncentracji metali w tych ekosystemach. Niewątpliwie nowe i cenne jest tabelaryczne zestawienie przedziałów zawar-

[1] Kaczmarek Z., 1970, *Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii*. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa. Yevjevich V., 1972a, *Probability and statistics in hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins, Yevjevich V., 1972b, *Stochastic processes in hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins.

[2] Ross S. M., 1984, *A first course in probability*, McMillan, New York.

[3] Cunnane C., 1989, *Statistical distributions for flood frequency analysis*, Operational Hydrology Report No. 33, WMO Geneva.

tości 82 pierwiastków chemicznych w wodzie, organizmach wodnych oraz w osadach dennych. Dla organizmów słodkowodnych wyliczono również tzw. tłowe zawartości tych pierwiastków. Znaczącą rolę czynników hydrobiologicznych w kształtowaniu zdolności buforowej (w stosunku do metali) małych zbiorników wodnych udokumentowano wynikami badań przeprowadzonych w obszarach rezerwatowych Rosji Europejskiej, Kaukazu i Tiań-Szania. W przypadku kilkudziesięciu gatunków organizmów wodnych podano wskaźniki koncentracji (w stosunku do stężenia w wodzie) Fe, Mn, Co, Mo, Cr, Sb. Właściwe rozwinięcie hasła tytułowego książki znajdzie czytelnik w trzecim, najobszerniejszym objętościowo dziale monografii. Opierając się w większości na wynikach własnych prac udokumentowano i dogłębnie oświetlono rolę czynników ekologicznych wpływających na poziom koncentracji metali w organizmach słodkowodnych. Ilościowy materiał pochodzi z wieloletnich pomiarów prowadzonych w woroneskim rezerwacie biosfery, a także z opracowań eksperymentalnych. Te ostatnie dotyczyły np. wpływu oświetlenia i odczynu środowiska na wielkość koncentracji kadmu przez glony (*Cladophora glomerata*). Obszerna partia tekstu dotyczy koncentracji wybranych metali alkalicznych (Li, Na, K, Rb, Cs) i ciężkich (Zn, Cd i Hg) w różnych grupach organizmów zasiedlających niezanieczyszczone i zanieczyszczone zbiorniki słodkowodne. Liczne zestawienia tabelaryczne i wykresy dobrze ilustrują zależność koncentracji przez organizmy wodne wybranych pierwiastków chemicznych m.in. od stopnia mineralizacji wody oraz cech osadu dennego (głównie grubego detrytusu). Zamieszczony w tej części książki materiał dobrze dokumentuje bioindykacyjne właściwości wybranych organizmów słodkowodnych. Niektóre grupy tych organizmów można wykorzystywać jako czułe wskaźniki stopnia zanieczyszczenia małych cieków i zbiorników wodnych. Odrębną partię tekstu, zatytułowaną *Paleobiomonitoring*..., poświęcono analizie stężeń metali w próbach o znanym wieku, stanowiących kolekcje muzealne (np. rogi, pancerze, łodygi, liście). Wyniki porównania koncentracji metali w tych materiałach i próbach pobranych współcześnie nadzwyczaj wyraźnie dokumentują ogromną skalę oddziaływań antropogenicznych w ostatnich dziesięcioleciach. Monografia, ze względu na poruszaną tematykę oraz opartą na bezpośrednich pomiarach obszerną dokumentację analityczną, stanowi nowatorskie i bardzo cenne opracowanie naukowe. Obszerny spis literatury (294 pozycji rosyjskojęzycznych oraz 367 głównie anglojęzycznych) obejmuje w większości prace opublikowane w ostatnich kilkunastu latach.

Bogumił Wicik

Vegetation History and Archeobotany, Vol. 1, No. 1, 1992, Springer-International Verlag, Berlin-Heidelberg, ss. 64, rys., tab., fot.

Z ogromnym zainteresowaniem przyjmie środowisko naukowe ukazanie się nowego czasopisma o historii roślinności i archeobotanice. Struktura biosfery, jako wskaźnika długofalowych fluktuacji klimatycznych w cyklu interglacjalno-glacjalnym ostatnich 15 000 lat i zmian krótkookresowych ostatnich 2000 lat, gdy na naturalne wahania zaczęła nakładać się rosnąca ingerencja człowieka, coraz częściej staje się przedmiotem badań wielu dyscyplin naukowych. Celem ich jest poznanie tempa przemian szaty roślinnej w skali historycznej, stanowiącego podstawę rozwoju działalności człowieka i współczesnych prognoz związanych z efektem szklarniowym.

Aby zogniskować wyniki badań w tym zakresie, powstające z reguły na pograniczu różnych dyscyplin naukowych, znane wydawnictwo berlińskie Springer Verlag rozpoczęło od stycznia 1992 r. wydawanie kwartalnika poświęconego historii szaty roślinnej oraz rozwojowi flory w plejstocenie i holocenie i zagadnieniom paleoekologicznym. To wyraźnie sprofilowane czasopismo ma pokazać najnowsze osiągnięcia w zakresie wpływu człowieka na naturalne środowisko w czasie, od okresu prehistorycznego do średniowiecza, uzyskiwane za pomocą różnych metod i technik badawczych: palinologicznych (pyłki), paleontologicznych (skamieniałości i szczątki roślinne) oraz analiz zawartości stanowisk archeologicznych i gleb.

Międzynarodowa ranga czasopisma wpłynęła na fakt, że zespół redakcyjny składa się z wybitnych specjalistów światowych, od dawna zajmujących się wieloma aspektami historii roślinności. Redaktorem naczelnym czasopisma jest K. E. B e h r e z Dolnosaksońskiego Instytutu Historii Rozwoju Kultury i Sztuki w Wilhelmshaven (Niemcy), zastępcą G. W. J a c o b s o n Jr z Instytutu Biologii Roślin

i Studiów nad Czwartorzędem w Uniwersytecie Maine (USA). Międzynarodowa rada redakcyjna, dbająca o dobór artykułów, składa się z 8 znanych badaczy; są to: B. Aaby z Danii, B. Ammann ze Szwajcarii, C. C. Bakels z Holandii, J. W. de Beaulieu z Francji, B. E. Berglund ze Szwecji, H. J. Beug z Niemiec, P. E. Kaland z Norwegii i J. C. Ritchie z Kanady. Nad poprawnością językową i edytorską czuwają redaktorzy z Wielkiej Brytanii M. O' Connell z Galway (Irlandia) i J. Greig z Birmingham (Anglia).

Celem czasopisma, które zapewne osiągnie zasięg światowy, jest publikowanie artykułów przeglądowych i metodycznych na temat stanu i tendencji badawczych odnoszących się do zmian szaty roślinnej w przeszłości związanej z antropopresją. Historia roślinności będzie prezentowana pod kątem rekonstrukcji paleoklimatu i stratygrafii czwartorzędu. Rozwój roślinności związanej z człowiekiem w czasie prehistorycznym i historycznym, stanowiący podstawę do rekonstrukcji paleośrodowiska, jak też ewolucja gospodarki agrarnej w wyniku wprowadzania roślin uprawnych, będą problemami nadrzędnymi. Raz w roku przewiduje się publikowanie bibliografii na temat gatunków, datowania i miejsca występowania szczątków roślinnych towarzyszących człowiekowi, uzyskanych ze źródeł archeologicznych.

Zamierzeniem redakcji jest publikowanie artykułów specjalistycznych z pokrewnych dziedzin, takich jak: archeologia, paleoekologia, paleohydrologia i archeobotanika. Redaktorzy wyrażają nadzieję, że będą zgłaszane artykuły związane z rozwojem krajobrazu kulturowego, z migracją gatunków, rekonstrukcją warunków edaficznych w przeszłości, świadczących o warunkach ewolucyjnych roślin uprawnych.

Badania palinologiczne, stanowiące podstawowe ogniwo poznania i rekonstrukcji warunków klimatycznych, będą kluczem do efektywnego zrozumienia czynników antropogenicznych. Jest jednak niemal oczywiste, że rekonstrukcja warunków klimatycznych nie jest możliwa bez zastosowania techniki poboru rdzeni osadów dennych jezior, bagien, mórz i rzek; z tego zakresu artykuły są szczególnie poszukiwane. Twórcy czasopisma mają nadzieję, że odegra ono aktywną rolę w kształtowaniu poglądów na temat badań archeobotanicznych.

Różne kierunki badawcze z zakresu historii roślinności złożyły się na treść pierwszego numeru czasopisma.

Badania współczesnych pyłków i relacje ich z rekonstrukcją użytkowania ziemi i kultury krajobrazów południowej Szwecji są przedmiotem studiów Gaillarda, Birksa, Emanelssona i Berglunda, przedstawicieli skandynawskiej szkoły paleobotanicznej. Metody pomiarów polowych i laboratoryjnych gruntów i pyłków roślin użytkowych z powierzchni wzorcowych 10 m × 10 m łąk, pastwisk i pól, reprezentujących 92 stanowiska różniące się typem gospodarki, rodzajem gleby i nawożeniem, były celem badań, a wyniki ilościowe były poddane opracowaniom statystycznym. Badano 23 różne charakterystyki gruntów i roślinności leśno-łąkowej, takich jak: pokrycie, zwartość, natężenie wypasu w skali 4-stopniowej, odległość od morza, zawartość cząstek spalonych w wyniku pożarów, charakter wypasu, obecność zwierząt hodowlanych, odczyn pH, wilgotność gruntu, zawartość amoniaku, mocznika, potasu, fosforu i azotu. W rezultacie dokonano ścisłej oceny zmian i zróżnicowania roślin w zależności od skali lokalnej siedlisk i warunków paleoekologicznych.

Holoceńskie zmiany roślinności w obrębie jeziora Arkutino w południowo-wschodniej Bułgarii są przedmiotem badań E. Bozilovej z Uniwersytetu Sofijskiego i H. J. Beuga z Instytutu Palinologicznego w Getyndze. Zmiany roślinności wodnej i szuwarowej dały podstawę do zbudowania chronologii holocenu, zapisanej z dwóch profili osadów dennych płytkiego jeziora przybrzeżnego. Analizy palinologiczna oraz makroszczątków roślin i zwierząt były wspomagane datowaniem radiowęglem C_{14}. Zostały wyróżnione 34 gatunki szuwarowo-bagienne i liczne szczątki fauny (mięczaki, małże, ślimaki), które potwierdziły, że zasięg jeziora i jego poziom był zależny od wpływu Morza Czarnego i rzeki Ropotamo.

M. Ralska-Jasiewiczowa z Instytutu Botaniki w Krakowie i B. van Geel z Uniwersytetu w Amsterdamie są autorami interesującego artykułu na temat zaburzającego wpływu działalności wczesnego człowieka na środowisko naturalne, zapisanej w rocznych laminach osadów jeziora Gościąż (Kotlina Płocka) wieku 7500–3900 BP. Wyróżniono 4 fazy oddziaływania człowieka, m.in. w okresie mezolitu, wczesnego neolitu i epoki kamiennej. W wyniku analizy przyrostu osadów dennych i analiz palinologicznych dowiedziono, że wylesianie zwiększyło erozję gleb ze zlewni bezpośredniej i wpłynęło na silną eutrofizację jeziora. Zapisy palinologiczne lamin odpowiadają fazom rozwojowym jeziora Gościąż

od późnego glacjału do holocenu. Profile palinologiczne osadów (od 0 do 200 mm) z identyfikacją blisko 70 rodzajów i gatunków roślin, powiązane z wynikami badań radiowęglowych, pozwoliły wyróżnić 4 fazy zaburzeń środowiska przez człowieka: I (6690–5990 lat), II (5980–5580), III złożona z 4 podfaz (5540–4470) i IV faza (4280–4000 lat). Wybrane makroszczątki i tkanki traw oraz makrofitów, ukazujące zróżnicowanie morfologiczne roślin, pokazano na fotografiach w dużym powiększeniu.

W ostatnim artykule, pióra S. A. G. Leroy z Uniwersytetu Katolickiego w Louvain, poruszono występowanie paproci pływającej (*Azolla nilotica*) w holoceńskich osadach rzecznych delty Nilu. Obecnie gatunek ten w delcie Nilu nie występuje, należy do gatunków reliktowych, a jej najbliższe stanowisko znaleziono w południowym Sudanie. Paproć pływająca była głównym gatunkiem błotnistych zbiorowisk papirusowych, a zanik tego gatunku można wiązać z działalnością człowieka, głównie melioracjami zmieniającymi warunki hydrologiczne roślinności wodnej. Paproć pływająca jest współcześnie ważnym elementem rolnictwa trzeciego świata, zdolnym do asymilacji azotu atmosferycznego. Analizowano występowanie tego gatunku w aluwiach i madach o miąższości od 1 do 22,6 m, mikropory i makropory zaś dają podstawę do rekonstrukcji delty Nilu w czasie ostatnich 2 tys. lat, powiązanej ze zmianami klimatycznymi i środowiskiem. Najsilniejsze zmiany w delcie Nilu, powodujące zaginięcie gatunku, były niewątpliwie związane z aktywnością człowieka, rolnictwem, odwadnianiem i nawadnianiem.

Ostatnia część czasopisma, zawiera, oprócz reklam najnowszych książek z dziedziny historii roślinności, także najnowszą literaturę wydaną w latach 1989/90 z zakresu pozostałości szczątków roślin uprawnych, zebraną przez J. Schultze-Motela z Instytutu Genetyki i Uprawy Roślin w Gatersleben (RFN). Znaleziska roślin uprawnych towarzyszących od wieków człowiekowi obejmują 90 gatunków, miejsce ich znalezienia i ich datowanie. Dane paleobotaniczne stanowią specyficzny bank informacji pomocnych w rekonstrukcji środowiska. Zestawienie gatunków szczątków roślin uprawnych, takich jak: zboża, warzywa, drzewa owocowe oraz uprawy przemysłowe i umiejscowienie ich w okresach historycznych są pasjonującym zapisem rozwoju świata nie tylko dla specjalistów.

Czasopismo ma ładną szatę graficzną, z licznymi diagramami, tabelami, fotografiami mikroskopowymi; z pewnością wypełni lukę w zakresie studiów interdyscyplinarnych i przyczyni się do rozwoju nowo powstającej gałęzi nauki ukazującej krystalizowanie się poglądów na rozwój roślinności w przeszłości i skalę czasu w relacji z człowiekiem.

Małgorzata Gutry-Korycka

UNESCO Environment and Development Briefs. No. 1, *Debt for Nature;* No. 2, *Ground Water;* No. 3, *New Technologies.* Banson, London 1992; ss. 16 + 16 + 16, fot. kolor.

Osiągnięcia współczesnej nauki są zazwyczaj zbyt odległe i złożone, by mogli je śledzić urzędnicy administracji czy też osoby podejmujące decyzje ekonomiczne, a właśnie w ich rękach spoczywają fundusze przeznaczone na rozwój gospodarczy, wykorzystanie zasobów naturalnych i ochronę środowiska. Taka sytuacja jest dość typowa dla państw rozwijających się i przechodzących proces reform. By przezwyciężyć trudność w upowszechnianiu informacji o współczesnych metodach i problemach badawczych, UNESCO rozpoczęło wydawanie biuletynu *Environment and Development Briefs.* Dotychczas wydano 3 zeszyty, które są poświęcone następującym zagadnieniom: ekokonwersja zadłużenia, gospodarka zasobami wód podziemnych, zastosowanie teledetekcji i systemów geoinformacyjnych.

Program redukcji zadłużenia w zamian za inwestycje służące ochronie środowiska jest popularnie nazywany ekokonwersją. Program ten jest szansą dla krajów zadłużonych, które nie mogą przezwyciężyć swych trudności gospodarczych, a jednocześnie na ich terytorium istnieje poważne zagrożenie środowiska. Niektóre państwa szukają bowiem dróg wyjścia z zadłużenia przez nadmierną eksploatację swoich bogactw naturalnych, w innych regionach poważnym problemem jest powiększanie się obszarów rolniczych kosztem unikalnych zbiorowisk roślinnych, jak np. lasów tropikalnych. Na czym więc ma polegać ekokonwersja? Na wstępie przedstawiono rozwój sytuacji gospodarczej świata, która z początkiem lat osiemdziesiątych doprowadziła do kryzysu zadłużenia oraz do powstania rynku zadłużenia. W przystępny sposób omówiono terminy stosowane przez banki i przebieg operacji ekonomicznych, których celem jest redukcja długu i finansowanie projektów służących ochronie środowiska. Nie zabrakło

również głosów dyskusyjnych, które przedstawiają niebezpieczeństwa związane z taką metodą oddłużania. Podano kilka przykładów prowadzonych obecnie programów ekokonwersji, m.in. ochrona zasobów biosfery w Kostaryce i na Madagaskarze, ochrona powietrza i wód powierzchniowych w Polsce.

Drugi numer biuletynu poświęcono podstawowemu źródłu zaopatrzenia w wodę ponad połowy ludności świata, jakim jest woda gruntowa. Przedstawiono podstawy cyklu hydrologicznego i jego podziemnej składowej, ze szczególnym uwzględnieniem źródeł zanieczyszczeń. Podkreślono, że dużym ryzykiem związanym z nadmierną eksploatacją wody podziemnej są takie zjawiska, jak wyczerpanie zasobów, intruzja wody zasolonej, czy też osiadanie gruntu. Można im przeciwdziałać prowadząc odpowiednią gospodarkę wodną, w ramach której konieczne jest uregulowanie praw własności, odpowiednie zarządzanie i monitoring, ochrona jakości wody, kształcenie specjalistów. Każdy z tych elementów został pokrótce omówiony, podano także przykłady z różnych stron świata.

Trzeci zeszyt poświęcono nowym technologiom, jakie się pojawiły w ostatnich latach, a mianowicie teledetekcji i systemom geoinformacyjnym (GIS). Przedstawiono podstawowe informacje o działających obecnie satelitach i możliwości wykorzystania obrazów satelitarnych do zagospodarowania zasobów naturalnych. Pokrótce przedstawiono także zasadę działania systemu GIS jako narzędzia służącego do zbierania i przetwarzania informacji przestrzennej o środowisku. Podano przykłady zastosowania GIS oraz teledetekcji w takich projektach, jak gospodarowanie zasobami wody (Kenia), wyznaczanie obszarów zagrożonych erozją i powodziami (Ekwador), gospodarka przestrzenna (Senegal), ocena plonów (Włochy). Technika GIS jest dopiero w stadium rozwoju, omówiono zatem podstawowe problemy towarzyszące jej wprowadzaniu.

Każdy zeszyt zawiera użyteczne informacje o instytucjach, które mogą służyć poradą lub udzielić wsparcia finansowego. Biuletyn jest bardzo starannie wydany, z ciekawymi ilustracjami i zestawieniami statystycznymi i z pewnością przyczyni się do popularyzacji idei ochrony środowiska i wykorzystania osiągnięć nauki.

Artur Magnuszewski

Bill R., Fritsch D. *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1, Hardware, Software und Daten*. Herbert Wichmann Verlag GmbH, Karlsruhe 1991; ss. 414, rys. 150, tab. 19, fot. 13.

Technologia GIS jest stosunkowo młodą dyscypliną informatyki, a jednocześnie dziedziną dość złożoną, gdyż wywodzi się z takich grup oprogramowania, jak relacyjne bazy danych, projektowanie komputerowe (CAD), grafika komputerowa i przetwarzanie obrazów. Użytkownik systemu GIS musi być zatem zarówno specjalistą w swojej dyscyplinie, jak również sprawnie posługiwać się komputerem. Autorzy omawianej książki stawiają sobie za cel przedstawienie teoretycznych podstaw systemów GIS oraz wprowadzenie w zagadnienia techniczne związane z działaniem i budową sprzętu komputerowego.

W pierwszym rozdziale przedstawiono podstawy teoretyczne GIS, omówiono rozwój systemów i ich specyfikę wynikającą z działania na danych przestrzennych. Wytłumaczono kodowanie danych przestrzennych i pojęcie obiektu, określonego przez pewną listę atrybutów oraz położenie geometryczne. Dokonano klasyfikacji systemów GIS ze względu na skalę przestrzenną, jakiej dotyczą, oraz aspekt funkcjonalny.

Kolejna część jest poświęcona omówieniu sprzętu komputerowego, jaki jest używany w systemach GIS. Kolejno przedstawiono urządzenia zewnętrzne, takie jak digitizer, instrumenty geodeyzjne i fotogrametryczne, skaner, instrumenty teledetekcyjne. Porównano moc obliczeniową komputerów klasy PC z minikomputerami. Autorzy przedstawili także nowe tendencje w rozwoju pamięci masowych, czyli technologię laserowego zapisu na dyskach optycznych. Nie zabrakło także prezentacji urządzeń wyjściowych, takich jak drukarki i plotery.

Do działania systemu GIS jest niezbędne właściwe oprogramowanie, zagadnieniu temu jest poświęcona kolejna część książki, gdzie znajdziemy ogólne wiadomości na temat systemów operacyjnych, języków programowania, standardów grafiki komputerowej. Następnie omówiono podstawowe funkcje i procedury, jakie muszą się znaleźć w pakiecie GIS, służące wprowadzaniu i analizie danych, a następnie

prezentacji wyników. Porównano najczęściej stosowane metody komunikacji użytkownika z systemem GIS i podstawowe procedury narzędzi analitycznych.

Niezbędnym elementem każdego systemu GIS są dane przestrzenne. Dokonano przeglądu źródeł danych przestrzennych, takich jak materiały kartograficzne, wyniki pomiarów geodezyjnych (również z zastosowaniem nawigacji satelitarnej GPS — *Global Positioning System*), fotogrametria, cyfrowe modele terenu, obrazy teledetekcyjne. Kolejny krok to wprowadzenie danych do systemu przez cyfrowanie, skanowanie lub wczytanie danych alfanumerycznych. Wspomniano także o zagadnieniu jakości danych i kosztach wprowadzania danych do systemu.

Gdy wszystkie składowe systemu GIS są już gotowe, pozostaje wykonać analizę danych. Przedstawiono podstawowe sposoby przetwarzania danych, jakie wynikają z ich kodowania w modelu geometrycznym, topologicznym i tematycznym.

Ważnym elementem systemu GIS jest także baza danych, której podstawowe założenia omówiono w dalszej części książki. Przedstawiono wymagania, które powinien spełniać program i język zarządzania bazą danych. Dość dokładnie zostały wyjaśnione różnice między hierarchiczną i relacyjną bazą danych i różnymi systemami fizycznego zapisu danych.

W ostatnim rozdziale dokonano podsumowania obecnego stopnia rozwoju techniki GIS, wspomniano o ośrodkach prowadzących badania nad rozwojem tej dziedziny informatyki, wymieniono najważniejsze podręczniki i czasopisma zajmujące się problematyką GIS.

Interesujące są również załączniki, w których znajdziemy porównanie 44 najbardziej znanych programów GIS, odpowiedzi na pytania kontrolne, słownik terminów, rozwinięcia akronimów i tabelę przeliczeń jednostek stosowanych w informatyce.

Omawiana książka jest bardzo dobrym podręcznikiem akademickim, z logicznym układem materiału i pytaniami kontrolnymi dla czytelnika. Bardzo przejrzysta treść i dobre ilustracje sprawiają, że książkę można polecić nie tylko specjalistom, lecz również osobom, które dopiero rozpoczynają pracować z systemami GIS.

Artur Magnuszewski

Standing up to natural disasters. UNESCO contribution to the International Decade for Natural Disasters Reduction 1990–2000. Division of Earth Sciences UNESCO, Paris 1991; ss. 49, fot.

W ciągu roku rejestrowane są na Ziemi tysiące trzęsień ziemi, osuwisk i tornado oraz setki wybuchów wulkanów, cykonów tropikalnych i susz. W latach 1970–1990 życie straciło w wyniku występowania klęsk żywiołowych 3 mln ludzi, a 1 mld odniósł uszczerbek na zdrowiu lub stracił dach nad głową. Szczególnie dotknięte skutkami zagrożeń naturalnych są kraje położone w strefie międzyzwrotnikowej, skąd pochodzi 90% ofiar śmiertelnych klęsk.

Sekretarz Generalny ONZ J. P. de Cuéllar uznał Międzynarodową Dekadę Zmniejszenia Skutków Klęsk Żywiołowych (IDNDR) za dobrą sposobność do zademonstrowania przez społeczność międzynarodową skuteczności zbiorowego wysiłku podjętego w celu zwiększenia stopnia bezpieczeństwa ludzkiej egzystencji. Każda z jednostek organizacyjnych ONZ ma swój udział w realizacji programu Dekady. Zakres działań UNESCO jest tu szczególnie szeroki, ponieważ sfera działania organizacji obejmuje wszelkie dziedziny wiedzy służące poprawie warunków bytowych. UNESCO już od 1960 r. kierowało programem badań trzęsień ziemi, a od 1968 r. rozszerzyło swoje zainteresowania na fale tsunami, wybuchy wulkanów, osuwiska i powodzie.

Podczas obecnej Dekady działania UNESCO będą skupiać się na badaniach przyczyn, skutków i sposobach ochrony przed klęskami żywiołowymi. Szczególne znaczenie przypisuje się kwestii przewidywania zagrożeń i odpowiednio wczesnego ostrzegania ludności. UNESCO uczestniczyło w organizacji Międzynarodowego Pacyficznego Systemu Ostrzegania przed Falami Tsunami, którego centrum znajduje się w Honolulu. Od 1983 r. patronuje tworzeniu zrębów systemu ostrzegania przed skutkami wybuchów 100 wytypowanych najgroźniejszych wulkanów (IMEWS). W latach 1981–1984 UNESCO kierowała też badaniami nad ochroną litosfery jako komponentu środowiska. Przedmiotem badań w tym programie

były także osuwiska i lawiny, które czasami wywołują skutki podobne do skutków trzęsień ziemi (25 tys. ofiar śmiertelnych w Huascaran, Peru 1970). Organizacja patronuje też programowi badań nad oceną ryzyka trzęsień ziemi w Afryce Północnej i na Bliskim Wschodzie.

Zasadniczy wysiłek w realizacji tych programów spoczywa na instytucjach i organizacjach narodowych. UNESCO pełni funkcje koordynacyjne i pomaga w początkowej fazie realizacji programów. Niektóre inicjatywy narodowe dzięki pomocy UNESCO przekształciły się w programy badań międzynarodowych. Zalążkiem współpracy krajów bałkańskich nad trzęsieniami ziemi był Instytut Inżynierii Sejsmologicznej w Skopje powstały w 1965 r., a współpracy krajów Ameryki Łacińskiej podobny instytut w Limie (1966 r.).

Poza badaniami stosowanymi UNESCO realizuje programy badań podstawowych współpracując z Międzynarodową Unią Nauk Geologicznych (IUGS). W programie tym zrealizowano od 1972 r. 59 tematów, a uczestniczyli w nim przedstawiciele 110 krajów. Przedmiotem zainteresowania badaczy były także różne zagrożenia geomorficzne — trzęsienia ziemi, osuwiska, zmiany linii brzegowej (*Regional Crustal Stability and Geological Hazards, Coastal Evolution in the Quaternary*). W zakresie badań podstawowych UNESCO także działa poprzez Międzynarodowy Program Hydrologiczny (IHP) i Międzynarodową Komisję Oceanograficzną (IOC) oraz współpracuje ze Światową Organizacją Meteorologiczną (WMO). Problematyka badań dotyczy głównie przyczyn powstawania powodzi sztormowych.

Wśród badań stosowanych szczególne miejsce UNESCO przypisuje badaniom pustynnienia strefy suchej i półsuchej. Susze są dotkliwym zagrożeniem dla 15% ludności świata. Głównym przedmiotem badań są relacje między człowiekiem a środowiskiem naturalnym w strefie suchej, funkcjonowanie ekosystemów, optymalizacja użytkowania ziemi. Od 1985 r. UNESCO patronuje działaniom zmierzającym do przywrócenia potencjału produkcyjnego zdegradowanemu środowisku w pobliżu jeziora Turkana w Kenii (*Turkana Resource Evaluation and Monitoring Unit* — TREMU). Inny projekt zmierza do aktywizacji badań nad przyczynami i skutkami suszy w Sahelu.

Podczas bieżącej Dekady UNESCO poświęci większą uwagę także dwu wąskim problemom w obrębie badań stosowanych: opracowaniu odpowiednich zasad budownictwa szkół na terenach stale zagrożonych przez klęski żywiołowe oraz ochronie obiektów uznanych za dziedzictwo cywilizacji ludzkiej. Uczniowie i nauczyciele stanowili 25% ofiar śmiertelnych podczas trzęsienia ziemi w Armenii (1989 r.). Zginęli pod gruzami niewłaściwie zbudowanych szkół i instytutów. Na liście dziedzictwa kultury ludzkiej znajduje się 337 obiektów, m.in. Wenecja. Od 1990 r. UNESCO koordynuje program badań nad systemem funkcjonowania laguny weneckiej.

Udział UNESCO w działaniach zmierzających do zwiększenia poczucia bezpieczeństwa różnych społeczności nie ogranicza się tylko do badań naukowych nad etiologią zagrożeń i sposobami prewencji. Istotną rolę będą miały działania informacyjne i propagandowe w celu zwiększenia stopnia świadomości społecznej oraz aktywizacji lokalnych społeczności i szerszego uczestnictwa w podejmowanych działaniach prewencyjnych.

Andrzej Lisowski

B o u r r i a u J. (red.) *Understanding catastrophe. Its impact on life on Earth.* The Darwin College Lectures, Cambridge University Press, Cambridge 1992; ss. 213, rys.

Specjalizacja opanowała wiele sfer życia społecznego w ostatnim stuleciu. Dotyczy to także sfery badań naukowych. Specyficzny język wąskich dyscyplin naukowych utrudnia wymianę informacji i popularyzację wiedzy. Specjalizacja skłania też do pozostawiania na uboczu zagadnień nie mieszczących się w aktualnych strukturach organizacyjnych nauki, choć zagadnienia te mogą mieć większe lub mniejsze znaczenie praktyczne.

W Uniwersytecie Cambridge od 1986 r. College Darwina organizuje serie wykładów poświęconych zagadnieniom o charakterze interdyscyplinarnym. Rozpatrywanie ogólnych problemów z różnych punktów widzenia ma ułatwić nie tylko przepływ informacji między różnymi dyscyplinami, ale powinno umożliwić dalszy postęp w badaniach danego problemu. W 1990 r. przedmiotem wykładów były katastrofy w badaniach przedstawicieli nauk przyrodniczych i społecznych.

Omawiana pozycja zawiera 8 wykładów poświęconych problemowi katastrof (klęsk żywiołowych, zagrożeń środowiskowych). Autorami poszczególnych rozdziałów są specjaliści z różnych dziedzin: astronom, geolodzy, inżynier budownictwa, matematyk i historycy. Redaktorka opracowania jest z wykształcenia archeologiem.

Cztery pierwsze rozdziały mają charakter przyrodniczy. Autorzy skupiają swoją uwagę na genezie katastrof naturalnych oraz metodach badań. R. Kirshner rozważa zagadnienie genezy i skutków wybuchu gwiazdy supernowej. W. Alvarez i F. Asaro na podstawie różnorodnej literatury analizują hipotetyczne przyczyny wymarcia dinozaurów 65 mln lat temu. Wyniki ostatnich badań przypisują to zdarzenie zmianom klimatycznym w wyniku uderzenia asteroidu lub wzmożonej aktywności wulkanicznej w skali globalnej. Problemy te mają charakter spekulatywny, ale wskazują, że istniejący porządek natury może być konsekwencją pewnych wyjątkowych zdarzeń w dalekiej przeszłości.

Dwa kolejne rozdziały pracy poświęcone są problemowi katastrof od strony teoretyczno-metodologicznej. M. Rudwick przeprowadza interesującą konfrontację poglądów ewolucjonistów i katastrofistów w XIX wieku. Olbrzymią rolę w tej dyskusji odgrywały nie tylko argumenty naukowe, ale i prestiż naukowy i osobowość adwersarzy. Niechęć do katastrofizmu wynikała z jednej strony z nieprzystawania problemu do uniwersalnej metodologii naukowej w ujęciu pozytywistycznym (mała częstość występowania zjawisk ekstremalnych), a z drugiej strony z faktu odwoływania się niektórych prekursorów katastrofizmu do sił nadprzyrodzonych i kreacjonizmu.

Jednak w ciągu ostatnich 30 lat obserwuje się wzrost zainteresowania teorią katastrofizmu. Katastrofizm nie jest zaprzeczeniem ewolucjonizmu (K. Darwin) i uniformitarianizmu (C. Lyell). Komplementarny charakter tych koncepcji prezentuje w bardziej sformalizowanej postaci C. Zeeman, zajmujący się teorią ewolucji i teorią katastrof. Nieregularności w czasie, przestrzeni i formie niekoniecznie muszą być skutkami nieregularnego występowania czynników sprawczych pewnych zjawisk. Radykalne zmiany jakościowe mogą być efektem regularnego oddziaływania czynników sprawczych. Postrzegana nagła zmiana (np. pojawienie się nowego gatunku) jest w pewnym stopniu wynikiem zewnętrznej percepcji procesu, ponieważ trwałość formy organizmu w czasie — przed i po transformacji — jest znacznie dłuższa niż okres samej transformacji. Na zagadnienie to zwrócił uwagę już K. Darwin.

Dwa kolejne rozdziały pracy są poświęcone kwestii postaw społecznych i działań prewencyjnych wobec najbardziej śmiercionośnych klęsk żywiołowych — trzęsień ziemi (C. Vita-Finzi) i silnych wiatrów (N. Cook). Szczególnie interesujący jest rozdział przygotowany przez praktyka — inżyniera budownictwa — dotyczący budowy domów przystosowanych do lokalnych warunków wietrznych.

Dwa ostatnie opracowania natomiast mają już charakter bardziej społeczny. P. Garnsey analizuje uwarunkowania i konsekwencje społeczne klęski głodu w szerokim przekroju historycznym i geograficznym. Zdaniem autora decydującą rolę w łagodzeniu tego zagrożenia odgrywa społeczny system wartości i efektywności funkcjonowania instytucji państwowych zdolnych do niesienia pomocy. R. Porter przedstawia postawy ludności Europy Zachodniej wobec chorób epidemicznych i nieuleczalnych. Zwykle takie choroby były traktowane w sposób irracjonalny. Doszukiwano się w nich „grzesznej" etiologii. Były one w świadomości społecznej konsekwencją szerzącego się zła, chorych dusz, dewiacji i skłonności do nadmiernej konsumpcji. Podobne postawy są współcześnie obserwowane wobec AIDS.

Założeniem wykładów w Darwin College jest swobodny wybór tematyki przez autorów. Stworzyło to możliwość ukazania rozległego zakresu form oraz skali czasowej i przestrzennej katastrof — głównie przyrodniczych. Nacisk w opracowaniu położony jest na wyjaśnianie genezy zjawisk oraz postawy społeczne wobec katastrof. Poszczególne rozdziały są napisane przystępnym językiem i zawierają liczne ilustracje. Pewien niedosyt u czytelnika budzi jednak brak jakiejś syntezy, np. w formie dyskusji nad interpretacją podstawowego pojęcia — „katastrofy".

Andrzej Lisowski

Chapel P. A. *Handbook of exploration geophysics. An encyclopedic and an algorythm source-book*. Balkema, Rotterdam 1992; ss. 412, rys., tab.

Omawiana książka jest rozszerzonym i poprawionym tłumaczeniem książki wydanej w 1980 r. przez wydawnictwo Masson w Paryżu, noszącej francuski tytuł *Géophysique appliquée. Dictionnaire et plan*

d'élude. Tłumaczenia na język angielski dokonał Ch. Stevenson. Książka składa się z 3 części. Część pierwsza zawiera 534 terminy i odnośniki (Terms and references), np. *absorbcja, filtr pasmowy, sejsmogram syntetyczny,* oraz 66 nazw-terminów (Title-terms), np. *sejsmograf, geofon, hydrofon.* Wspomniane 66 nazw-terminów i 534 terminy i odnośniki można nazywać hasłami, ponieważ słowo to najlepiej oddaje ich rolę: są one hasłami w pierwszej, ściśle encyklopedycznej części pracy. W części drugiej, noszącej tytuł *Metody*, autor opisuje elektryczne metody geofizyki poszukiwawczej (np. metodę opornościową, metodę prądów tellurycznych), metody elektromagnetyczne (m.in. magneto-telluryczne, metody elektromagnetyczne *sensu stricto*, np. metodę Turam) oraz w wydzielonym podrozdziale metody, które autor nazywa metodami geofizycznymi, stosowanymi w poszukiwaniu minerałów. Są one podzielone na metody pasywne i aktywne. Do metod pasywnych autor zalicza metody grawitacyjne, magnetyczne (oparte na pomiarze ziemskiego pola magnetycznego), radioaktywne, prądów tellurycznych, magneto-telluryczne, spontanicznej polaryzacji, elektromagnetyczne. Do metod aktywnych: elektromagnetyczne, indukowanej polaryzacji, magneto-elektryczne, elektryczne oraz sejsmiczne: refrakcyjne i refleksyjne. Metodom sejsmicznym, refleksyjnym i refrakcyjnym autor udziela szczególnie dużo uwagi. Trzecią część pracy stanowi obszerna bibliografia (prawie 300 pozycji), podająca spis publikacji z dziedziny geofizyki prospekcyjnej.

Omawiana publikacja stanowi dość obszerny podręcznik, ponieważ przedstawione w niej są prawie wszystkie stosowane metody geofizyki poszukiwawczej. Zawiera wiele poglądowych ilustracji. Jest dobrym podręcznikiem dla osób zamierzających pobieżnie zapoznać się z problematyką geofizyki poszukiwawczej. Mogą z niej też z powodzeniem korzystać osoby dobrze znające omawianą w książce tematykę, traktując ją jako małą encyklopedię geofizyki poszukiwawczej. Wadą jej jest zbyt pobieżne omówienie skomplikowanej problematyki, ale jest to cena, jaką należy zapłacić za encyklopedyczny charakter książki.

Janusz Niewiadomski

The National Atlas of Sweden — The Environment (red. C. Bernes, C. Grundsten). The National Environmental Protection Agency. SNA Publishing, Stockholm 1992; ss. 184, tab., rys., fot., mapy.

W 1990 r. przystąpiono w Szwecji do wydawania Narodowego Atlasu Szwecji (SNA), zamierzonego na 17 tomów, których ukazanie się przewidziano do 1996 r. Redakcja wydawnictwa znajduje się w Katedrze Geografii Człowieka Uniwersytetu Sztokholmskiego; kieruje nią wybitny geograf prof. Staffan Helmfrid. Atlas jest wydawany w języku angielskim, a poszczególne tomy zatytułowano następująco: *Maps and Mapping*; *The Forests; The Population*; *The Environment*; *Agriculture*; *The Infrastructure*; *Sea and Coast*; *Sweden in the World*; *Cultural Life, Recreation and Tourism*; *Work and Leisure*; *Cultural Heritage and Preservation*; *Geology*; *Landscape and Settlements*; *Climate, Lakes and Rivers*; *Manufactoring, Services and Trade*; *Geography of Plants and Animals*; *The Geography of Sweden.* Każdy tom stanowi swego rodzaju monografię, w której przeważa tekst, bogato ilustrowany mapami tematycznymi, kolorowymi fotografiami, rysunkami i tabelami, stanowi też odrębną całość pod wspólnym tytułem.

Ostatnio ukazał się tom poświęcony środowisku (*The Environment*); jego autorami są dwaj pracownicy naukowi Narodowej Agencji Ochrony Środowiska (SNV). Tom składa się z 6 części poprzedzonych ogólnym opisem przyrody, krajobrazu i człowieka oraz podziałem regionalnym kraju. Na początku omówiono główne zanieczyszczenia — ich rodzaje i źródła. Uwypuklono przede wszystkim konsekwencje awarii elektrowni jądrowej w Czernobylu, która — jak wiadomo — szczególnie odbiła się na północy Europy. Osobno podano charakterystykę zanieczyszczeń mórz Bałtyckiego i Północnego; wskazano tu na duże ilości zanieczyszczeń dostające się z Wisły i Odry.

W dalszej części dzieła znajdujemy opis krajobrazów naturalnych Szwecji: zalesienie, zabagnienie, krajobrazy górskie i obszary chronione, ale również informacje o zakwaszeniu gleb i wód gruntowych, a także zawartości w nich metali. Z kolei tzw. krajobrazy kulturalne scharakteryzowano przez ocenę żyzności środowiska, substancje toksyczne w rolnictwie i stan przyrody ożywionej.

Osobny rozdział dotyczy wód: jezior i rzek, wód chronionych, wykorzystania energii wodnej, możliwości zaopatrzenia w wodę. Na tle kontynentu europejskiego pokazano zakwaszenie jezior i rzek Szwecji jako problem narodowy. Odrębnie potraktowano stan wybrzeży. Sporo miejsca poświęcono eutrofizacji jezior i wody morskiej, zmienionym warunkom życia, zanieczyszczeniom toksycznym i ogólnej sytuacji biologicznej wód; pokazano to na kilku bardziej szczegółowych mapach.

Wreszcie odrębnie potraktowano stan terenów zurbanizowanych, wskazując na niszczącą rolę zanieczyszczeń przemysłowych w stosunku do budowli zabytkowych, zanieczyszczenie powietrza w miastach przez różne źródła emisji, transport i składowanie niebezpiecznych substancji oraz zagospodarowanie odpadów.

Ostatnia część dotyczy kontroli środowiska w Szwecji; wskazano m.in. na ogromny wzrost liczbowy, zwłaszcza w latach bezpośrednio po wojnie, Szwedzkiego Towarzystwa Ochrony Przyrody i Ruchu Zielonych (*Greenpeace*). Wysoko została postawiona ochrona środowiska i monitoring. Pokazano rozwój ochrony przyrody, powstanie licznych obszarów chronionych parków narodowych (głównie w części północnej i środkowej); ich rozmieszczenie ukazują dostatecznie szczegółowe mapy kraju.

W końcowych rozdziałach poruszono zagadnienie planowania przestrzennego z punktu widzenia ochrony przyrody, potrzebę zachowania dalszych terenów chronionych, sprawy terenów wypoczynkowych. Osobno omówiono przedsięwzięcia międzynarodowe i udział w nich Szwecji. Wreszcie pokazano 2 scenariusze rozwoju kraju i ich konsekwencje.

Atlas obejmuje 156 map w różnych skalach — od niewielkich mapek szkicowych po mapy w skali 1:1, 25 mln. Przytoczono także zwięzły wykaz terminów używanych w tekście. Format dzieła zbliżony do B4. Wydaje się, iż taka koncepcja atlasu narodowego jest wyjątkowo trafna i godna naśladowania.

Zdzisław Mikulski

Z ŻYCIA TOWARZYSTWA

WALNE ZGROMADZENIE POLSKIEGO TOWARZYSTWA GEOFIZYCZNEGO (Warszawa, 23 IX 1992 r.)

W związku z upływem kadencji Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Geofizycznego, w roku 1992 zostało zwołane XIX Walne Zgromadzenie Delegatów. Zgromadzenie otworzył prezes ustępującego Zarządu Głównego doc. Alfred Dubicki. Po powitaniu członków i zaproszonych gości wezwał do uczczenia minutą ciszy zmarłych podczas kadencji członków Towarzystwa, w tym członka-założyciela i członka honorowego prof. Stanisława Zycha.

Na przewodniczącego zebrania wybrano prof. Macieja Sadowskiego. Następnie oddano głos doc. Erykowi Bobińskiemu (IMGW), który przedstawił referat na temat suszy w Polsce, z uwzględnieniem warunków minionego, suchego lata.

Po części naukowej zebrania odbyła się jego część sprawozdawczo-organizacyjna. Na początku dokonano wyboru komisji skrutacyjnej i wnioskowej, a następnie przedstawiono zebranym sprawozdania: merytoryczne z działalności PTGeof. w okresie kadencji, finansowe i Głównej Komisji Rewizyjnej.

Doc. A. Dubicki w sprawozdaniu merytorycznym poinformował o stanie liczebnym i strukturze Towarzystwa: w 10 oddziałach gromadzi 436 członków zwyczajnych (o 21 więcej niż 4 lata temu) oraz 16 członków honorowych. Działalność Towarzystwa napotykała na duże trudności, związane przede wszystkim ze spadkiem wartości pieniądza, a także ograniczeniem dotacji PAN. Pociągnęło to konieczność podniesienia wysokości składek członkowskich i wpisowego, ceny *Przeglądu Geofizycznego*, honorariów za odczyty, a także zmianę zasad finansowania problematyki badawczej. Wzrost kosztów działalności przy jednoczesnym ograniczeniu dotacji PAN zmusiły Zarząd Główny do szukania innych źródeł finansowania. I tak, przy udziale redaktora naczelnego *Przeglądu Geofizycznego* prof. Z. Mikulskiego, udało się uzyskać odpowiednie fundusze na publikację organu Towarzystwa z Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa. Ponadto PTGeof. weszło w spółkę cywilną, co umożliwiło podejmowanie większej ilości prac na zlecenie. Mimo trudności zorganizowano kilka konferencji, sympozjów i sesji naukowych, w tym również wspólnie z innymi instytucjami, liczne spotkania naukowe odbywały się także w oddziałach, wygłaszano prelekcje dla nauczycieli i uczniów. Formą popierania działalności naukowej z zakresu geofizyki było przyznanie nagród 4 osobom oraz nagrody im. Mariana Molgi. Organ Towarzystwa, *Przegląd Geofizyczny*, mimo trudności finansowych, ukazuje się i rozwija przez wprowadzenie nowych działów, choć w niektórych latach w zmniejszonej objętości. Poczyniono tu oszczędności przez rezygnację z wypłacania honorariów autorskich. Trudności finansowe były też podstawową przyczyną zahamowania prac nad słownikiem meteorologicznym. Zgromadzono większą część materiałów i redaktor słownika prof. Tadeusz Niedźwiedź przewiduje zakończenie prac na rok 1993. Współpraca z zagranicą w minionej kadencji była skromna, a w przyszłości kontakty, polegające na wymianie wydawnictw, będą musiały ulec dalszemu ograniczeniu, gdyż koszty wysyłki stale wzrastają. Od 1989 r. PTGeof. podjęło działalność gospodarczą, w ramach której wykonano ponad 20 opracowań.

Sprawozdanie finansowe przedstawiła doc. Halina Lorenc, skarbnik Towarzystwa. W związku ze znacznym obniżeniem dotacji PAN PTGeof. wznowiło działalność gospodarczą, podejmując opracowa-

nia naukowe i ekspertyzy. W 1991 r. została utworzona spółka cywilna Geomet, do której PTGeof. weszło z udziałem 20%. Dało to możliwość podejmowania większej liczby prac na zlecenie innych instytucji bez konieczności płacenia podatku od ponadnormatywnych wynagrodzeń. Dochody Towarzystwa w okresie 1988–1991 wyniosły łącznie blisko 647 mln (w 1991 r. 454 mln), w tym dochody brutto z działalności gospodarczej 270 mln (208 mln), dotacja KBN 160 mln (160 mln), dotacja PAN 121,5 mln (27 mln), dotacja MOŚZNiL 60 mln (30 mln); ze składek członkowskich uzyskano zaledwie 3,5 mln (w 1991 r. 2,5 mln). Wydatki w tym czasie wyniosły 435 mln (w 1991 r. 287,5 mln), w tym na działalność gospodarczą 224 mln (164 mln), wydawanie *Przeglądu Geofizycznego* 72 mln (32 mln), popularyzację wiedzy 68 mln (40 mln), utrzymanie biblioteki 31 mln (27 mln), opracowanie słownika meteorologicznego 25,5 mln (13 mln). Mimo uzyskania dochodów z działalności gospodarczej i uzyskania dotacji z KBN, zachodzi konieczność podniesienia składki członkowskiej.

Sprawozdanie Głównej Komisji Rewizyjnej odczytał mgr Zbigniew Dziadziuszko. Działalność Zarządu Głównego została oceniona pozytywnie. Stwierdzono ożywienie działalności naukowej, wyrażające się w organizacji 5 sympozjów ogólnopolskich. Została zrealizowana większość wniosków z poprzedniego Walnego Zgromadzenia; na przeszkodzie realizacji wszystkich wniosków stanęły trudności finansowe lub organizacyjne. Komisja szczególnie pozytywnie oceniła działalność wydawniczą (*Przegląd Geofizyczny*) i postęp prac nad słownikiem meteorologicznym. Spośród oddziałów największą aktywnością wyróżniły się krakowski, wrocławski i warszawski, natomiast praktycznie zawiesił działalność oddział słupski. W konkluzji Komisja Rewizyjna postawiła wniosek o udzielenie absolutorium ustępującemu Zarządowi Głównemu. W wyniku głosowania zostało ono udzielone jednomyślnie.

W dyskusji nad sprawozdaniami znalazła się obszerna wypowiedź redaktora naczelnego *Przeglądu Geofizycznego* prof. Z. Mikulskiego, który przedstawił możliwości obniżenia kosztów wydawania kwartalnika, a także poinformował o zamierzeniach redakcji. Kilku dyskutantów wypowiadało się na temat spółki Geomet; m.in. prof. J. Jaworski wyjaśnił zasady i cele jej działania. Doc. W. Meyer przypomniał zebranym o opracowaniu historii oddziałów, które to opracowania będą sukcesywnie publikowane w *Przeglądzie Geofizycznym*. Prof. K. Kłysik zwrócił uwagę, że Towarzystwo powinno być orędownikiem interesów meteorologów i hydrologów w konkurencji z różnymi firmami wykonującymi niefachowe opracowania z tych dziedzin.

W dalszej części zebrania przystąpiono do wyboru nowego Zarządu Głównego i Głównej Komisji Rewizyjnej. Do Zarządu weszli (według liczby uzyskanych głosów): doc. Alfred Dubicki, mgr Zbigniew Dziadziuszko, prof. Jerzy Jaworski, dr Urszula Kossowska-Cezak, doc. Włodzimierz Meyer, doc. Halina Lorenc, doc. Stanisław Michnowski, prof. Tadeusz Niedźwiedź, dr Jerzy Szkutnicki, prof. Kazimierz Kłysik, dr Bogusław Kaszewski. Do Głównej Komisji Rewizyjnej wybrano: dra Janusza Podogrockiego, dr Danutę Limanówkę, mgr Magdalenę Bogucką, dra Jerzego Pykę i prof. Jerzego Punzeta.

Kolejnym punktem programu był znowelizowany statut PTGeof. Po dyskusji, w której m.in. zgłoszono wniosek, aby wyraźnie sformułować, iż PTGeof. realizuje swoje cele przez prowadzenie działalności gospodarczej, w tym również udział w spółkach i fundacjach, zebrani zaakceptowali wprowadzone zmiany.

Następnie rozpatrzono wnioski dotyczące nadania członkostwa honorowego. Dotyczyły one: prof. J. Punzeta (oddział krakowski), prof. A. Szpindora (oddział wrocławski) oraz prof. Z. Mikulskiego, doc. J. Michalczewskiego i mgr L. Kühn (oddział warszawski). Wszystkie kandydatury uzyskały poparcie zebranych.

Na zakończenie rozważono sprawę podwyższenia składki członkowskiej. Ustalono, że od roku 1993 będzie wynosiła 10 tys. złotych (zamiast dotychczasowej składki 5 tys. złotych).

W dniu 8 X 1992 r. odbyło się pierwsze zebranie nowo wybranego Zarządu Głównego. Zarząd ukonstytuował się następująco: przewodniczący — doc. A. Dubicki, wiceprzewodniczący — prof. J. Jaworski i doc. H. Lorenc, sekretarz — doc. W. Meyer, skarbnik — dr J. Szkutnicki, członkowie prezydium — dr B. Kaszewski i prof. K. Kłysik, członkowie ZG — mgr Z. Dziadziuszko, dr U. Kossowska-Cezak, doc. S. Michnowski, prof. T. Niedźwiedź.

Na zebraniu tym dokonano podziału zadań poszczególnych członków Zarządu. I tak, prof. J. Jaworski będzie się zajmował sprawami organizacyjnymi i naukowymi, będzie też współpracował ze

skarbnikiem i główną księgową w sprawach finansowych, a doc. H. Lorenc przejmie dziedzinę popularyzacji wiedzy, tzn. organizację konferencji, sympozjów i in., współpracę z innymi instytucjami itp. Zakres obowiązków sekretarza — doc. W. Meyera i skarbnika — dra J. Szkutnickiego wynika z ich funkcji, natomiast pozostałym osobom przypisano następujące obowiązki: dr B. Kaszewski — popularyzacja wiedzy w uczelniach, prof. K. Kłysik — programy kształcenia w zakresie meteorologii, klimatologii, hydrologii i ochrony środowiska, doc. S. Michnowski — popularyzacja wiedzy z zakresu geofizyki i nadzór nad pracą Sekcji Fizyki Ziemi i Przestrzeni Okołoziemskiej, mgr Z. Dziadziuszko — popularyzacja wiedzy w zakresie meteorologii i hydrologii morskiej oraz współpraca ze skarbnikiem, prof. T. Niedźwiedź — praca nad słownikiem meteorologicznym, dr U. Kossowska-Cezak — praca w redakcji *Przeglądu Geofizycznego*.

Urszula Kossowska-Cezak