

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN-POLONIA

VOL. XLIV/XLV,7

SECTIO B

1989/1990

Zakład Geografii Fizycznej Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UMCS

Henryk MARUSZCZAK, Maria WILGAT

**Zróźnicowanie regionalne geosystemów dorzecza Bugu
w świetle badań odpływu roztworów**

Regional Differentiation of the Geosystems in the Bug River Catchment in the Light of the Solution
Yield Investigations

Na podstawie wyników hydrometrycznych pomiarów stężenia roztworów i odpływów wody obliczono wskaźniki rzeczno odpływu roztworów. Za pomocą innych, odpowiednich danych określono udział poszczególnych składowych, czyli strukturę odpływu roztworów. Bilansową analizę tej struktury, według zasad zaprezentowanych we wcześniejszych opracowaniach (H. Maruszczak 1990a, H. Maruszczak i M. Wilgat 1991b), wykonano dla czterech przekrojów wodowskazowych na Bugu: Strzyżów, Dorohusk, Krzyczew, Wyszków. Wybrane one zostały wzdłuż biegu rzeki tak, aby można było sporządzić zestawienia dla zlewni różnicowych (między tymi wodowskazami), które najlepiej reprezentują poszczególne regiony (wyżyny wołyński, nizinny poleski, nizinno-wysoczyznowy podlaski). Uzyskaliśmy w ten sposób ilościowe wskaźniki niektórych cech (natężenie chemicznej denudacji litosfery, stopień zanieczyszczenia wód powierzchniowych i inne) geosystemów reprezentatywnych dla tych regionów.

WPROWADZENIE

Dorzecze Bugu obejmuje tereny pograniczne Polski, Ukrainy i Białorusi, charakteryzujące się znacznym zróźnicowaniem warunków przyrodniczych. Z punktu widzenia fizycznogeograficznego należą one prawie w całości do Europy Wschodniej, niezależnie od tego, czy granicę tej jednostki przyjmujemy w wersji proponowanej przez J. Kondrackiego (1977), czy też sugerowanej przez H. Maruszczaka (1987). Górna część dorzecza należy do wyżyn wschodniej części wału metakarpackiego, środkowa – do nizin poleskich, a dolna – do nizin mazowiecko-podlaskich (podlasko-białoruskich). Na to zróźnicowanie przyrodnicze nakładają się odrębności stosunków społeczno-gospodarczych, wiążące się z historią i różną przynależnością państwową w ostatnich stuleciach. W szczególności znaczne są różnice gęstości zaludnienia oraz stopnia urbanizacji i uprzemysłowienia górnej

części dorzecza (z prawie milionową aglomeracją łwowską i Wołyńskim Zagłębiem Węglowym) i części środkowej, tzn. poleskiej.

Podstawowe cechy tego zróżnicowania regionalnego od dawna są znane – odzwierciedlały się bowiem dość wyraźnie w dziejach tych ziem. W naszym opracowaniu zamierzamy zająć się tylko niektórymi jego aspektami. Przede wszystkim zwracamy uwagę na wskaźniki ilościowe zróżnicowania, które ustalić można na podstawie wyników badań rzeczno-transportu roztworów.

ZASADY OPRACOWANIA

W niniejszym opracowaniu wykorzystano jako podstawowe dane hydrometryczne ilustrujące stężenie roztworów, czyli mineralizację ogólną wód rzecznych, oraz ich przepływy. Dane takie pozwalają określić ilościowo rzeczny odpływ roztworów z analizowanych zlewni. Uwzględniając przy tym dane, umożliwiające ustalenie pochodzenia poszczególnych składowych, można podejmować próby bilansowej analizy struktury rzeczno-transportu roztworów. Pierwsze takie ujęcie dla całego dorzecza Wisły przedstawił H. Maruszczak (1986, 1990a); opracowanie uwzględniające 20 zlewni niższego rzędu jest w druku (H. Maruszczak i M. Wilgat 1991b).

Dla obliczeń bilansowych odnoszących się do mniejszych dorzeczy podstawowe znaczenie miała mapa rzeczno-transportu roztworów w całym dorzeczu Wisły, sporządzona według średnich danych pomiarowych za lata 1976–1985. Dane niezbędne do opracowania tej mapy były następujące: 1) ładunek roztworów rzecznych (mg/l), mierzony w kontrolnych punktach pomiarowych wojewódzkich ośrodków badań i kontroli środowiska (OBiKS), których było w dorzeczu Wisły około 1000; 2) odpływy wód rzecznych (l/s · km²) mierzone w punktach wodowskazowych IMiGW (dane publikowane w Rocznikach Hydrologicznych wód powierzchniowych). Pomiar odpływu/transportu roztworów obliczono w sposób uproszczony za pomocą wzoru:

$$Tr(\text{l}/\text{km}^2 \cdot \text{rok}) = \frac{R(\text{mg}/\text{dm}^3) \cdot q(\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2) \cdot 31\,536\,000}{10^9}$$

gdzie: Tr – transport, czyli odpływ roztworów, R – mineralizacja, czyli stężenie substancji rozpuszczonych w wodzie, q – odpływ jednostkowy wody z dorzecza.

Jest to wskaźnik jednostkowy łatwy do obliczenia, a równocześnie umożliwiający bezpośrednio porównywanie dorzeczy o różnych wielkościach.

Przy opracowaniu mapy odpływu roztworów z terenów rolniczych uwzględniano tylko wyniki pomiaru ładunku roztworów w małych rzekach, nie obciążonych ściekami komunalno-przemysłowymi. Zasada opracowania mapy, ilustrowana przykładem arkusza mapy obejmującego południowo-wschodnią część dorzecza Wisły, przedstawiona jest w rozprawie zawierającej m.in. także ocenę stopnia jej dokładności (H. Maruszczak 1990a). Zgeneralizowana wersja mapy obejmującej całe dorzecze Wisły, opracowana przez H. Maruszczaka i M. Wilgat w 1988 r., także została opublikowana (H. Maruszczak 1990b).

Nasza mapa odpływu roztworów pozwala obliczyć, za pomocą planimetrowania, średnie wskaźniki ogólnego odpływu roztworów z terenów rolniczych (ORr) dla

dowolnie wybranej zlewni. Jeśli dla punktu wodowskazowego zamykającego taką zlewnię mamy wyniki pomiarów mineralizacji oraz odpływów wody, to możemy obliczyć ogólny odpływ rozтворów, tzn. odpływ pochodzący łącznie z terenów rolniczych oraz występujących na tym terenie obiektów komunalnych i przemysłowych (ORo). Różnica między ORo i ORr jest miarą wielkości składowej pochodzącej ze ścieków komunalnych i przemysłowych.

Przedstawione na podstawowej mapie ilości rozтворów odpływających z terenów rolniczych są różnego pochodzenia. Oprócz składowej naturalnej, tzn. związanej z chemiczną denudacją litosfery, mamy składowe pochodzące z opadów atmosferycznych, chemizacji rolnictwa oraz wiejskich ścieków bytowo-gospodarczych. Składową naturalną trudno jest zmierzyć bezpośrednio. Udział pozostałych natomiast można obliczyć lub oszacować na podstawie różnych danych faktycznych.

Składową pochodzącą z opadów atmosferycznych oszacowano na podstawie wyników pomiarów mineralizacji opadów, według zasad przedstawionych we wcześniejszym opracowaniu (H. Maruszczak 1990a). W tym opracowaniu posłużono się danymi z połowy lat siedemdziesiątych i oszacowano średni udział tej składowej w dorzeczu Wisły na 8 t/km².rok. Uwzględniając późniejsze tendencje jej wzrostu (J. Pawlik – Dobrowolski 1983, H. Pondeli H. Terelak 1986) przyjęto, że w latach 1976–1985 przeciętna jej wielkość wynosiła w tym dorzeczu już 9 t/km².rok. W poszczególnych zlewniach niższych rzędów wielkość ta była, oczywiście, różna – szacowano ją odpowiednio do stopnia zanieczyszczenia atmosfery. Jako miarę zanieczyszczenia przyjęto wielkość „strumienia” SO₂ pochodzenia atmosferycznego na obszarze Polski, przedstawionego za pomocą izolinii według opracowania J. Judy et al. (patrz S.K. Wiąckowski 1989, s. 35.)

Składową związaną z chemizacją rolnictwa obliczono identycznie jak w poprzednim opracowaniu. Uwzględniono więc wyniki badań nad wielkością strat nawożenia mineralnego (M. Wilamski i Z. Śliwa 1978, H. Pondeli H. Terelak 1981, H. Pondel et al. 1978), spowodowanych ługowaniem przez wody atmosferyczne. W ten sposób oszacowano, że straty nawozów mineralnych NPK wynoszą 10–15%, a nawozów wapniowych około 50%. Wielkości bezwzględne tych strat obliczono według danych statystycznych z 1980 r., ilustrujących dawki nawożenia mineralnego w gminach na obszarze poszczególnych zlewni.

Składowa pochodząca z wiejskich ścieków bytowo-gospodarczych w poprzednim opracowaniu nie była uwzględniona z powodu braku odpowiednich danych faktycznych. Zakładano wówczas, że jej udział jest bardzo mały ze względu na niski poziom wyposażenia osadnictwa wiejskiego. Obecnie uwzględniliśmy jednak tę składową, zwracając uwagę szczególnie na jej zróźnicowanie w analizowanych zlewniach. Arbitralnie przyjęliśmy, że średni dla całego dorzecza Wisły wskaźnik udziału takich ścieków wynosi 1,0 t/km².rok, tzn. jest wielokrotnie mniejszy niż składowej związanej z chemizacją rolnictwa. Zróźnicowanie wielkości tego wskaźnika w poszczególnych zlewniach obliczano odpowiednio do gęstości zaludnienia terenów wiejskich oraz poziomu kultury rolnej; za miarę tej kultury przyjęto wielkość nawożenia mineralnego.

Składowe ogólnego odpływu roztworów (ORo) uporządkowano w tabelach następująco: 1) z opadów atmosferycznych (ORop), 2) z chemizacji rolnictwa (ORch), 3) z wiejskich ścieków bytowo-gospodarczych (ORsbg), 4) ze ścieków komunalno-przemysłowych (ORskp), 5) z chemicznej denudacji litosfery (ORd). Można to przedstawić w postaci równania bilansowego: $ORo = ORop + ORch + ORsbg + ORskp + ORd$. Na końcu umieszczono składową naturalną, pochodzącą z chemicznej denudacji litosfery. Wielkość jej określono jako różnicę między ogólnym odpływem roztworów (wielkość „mierzalna” metodami hydrometrycznymi) oraz sumą składowych związanych z działalnością gospodarczą (obliczone i oszacowane według przyjętych zasad). Relacje między składową naturalną i składowymi związanymi z działalnością gospodarczą można traktować jako wskaźniki stopnia antropogenicznego przekształcenia środowiska przyrodniczego analizowanych zlewni. Przy takim ujęciu strukturę rzeczno odpływu roztworów można interpretować jako pośredni wskaźnik charakterystycznych cech geosystemów reprezentatywnych dla tych zlewni (H. M a r u s z c z a k, M. W i l g a t 1991a).

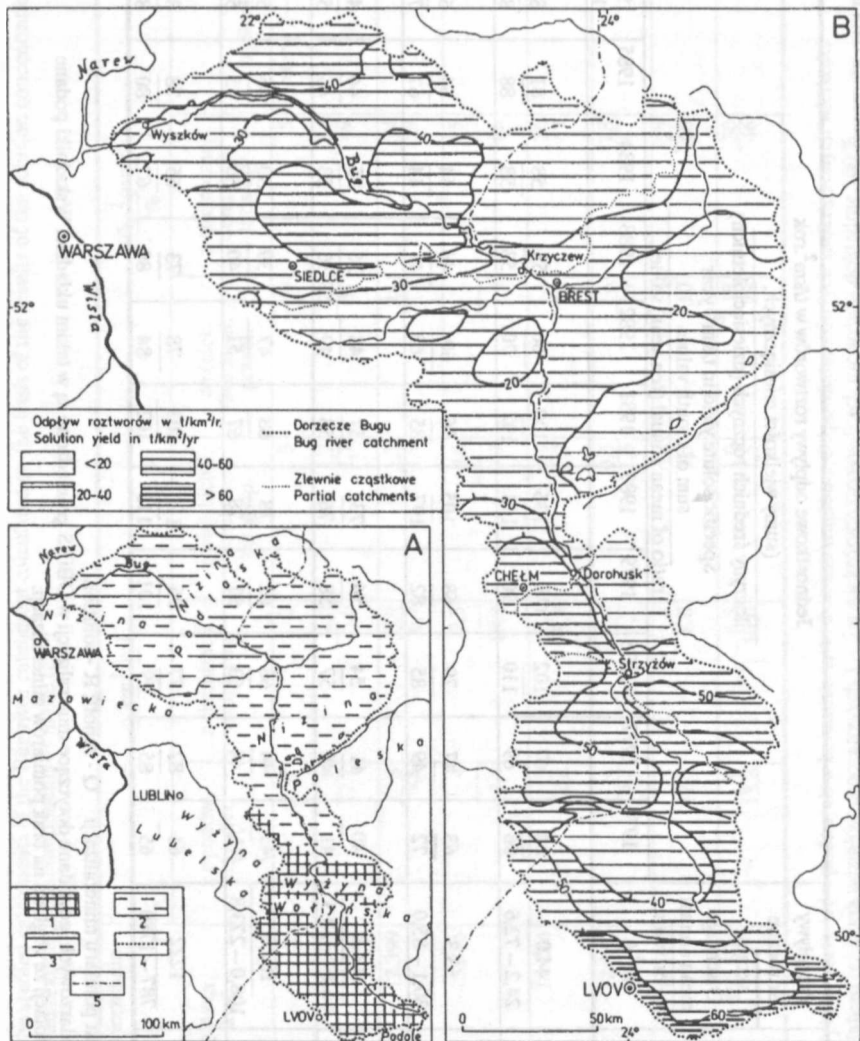
DANE PODSTAWOWE DO ANALIZY ODPLYWU ROZTWORÓW W DORZECZU BUGU

Mapa podstawowa, ilustrująca odpływ roztworów z terenów rolniczych, wykonana została w Zakładzie Geografii Fizycznej UMCS w Lublinie w ramach prac studialnych do jednego z zadań badawczych międzyresortowego problemu „Przemiany środowiska geograficznego Polski” (w latach 1981–1985 problem MR.1.25, a w latach 1986–1988 problem CPBP.03.13). Pomiarowe dane faktyczne niezbędne dla wykonania tej mapy uzyskaliśmy w znacznej części nieodpłatnie z OBiKS-ów (mineralizacja) względnie z IMiGW (przepływy wód rzecznych)*.

Szczegółowe dane faktyczne dla dorzecza Bugu mieliśmy tylko dla części w granicach Polski. Wyniki analizy tych danych – zaprezentowane za pomocą izolinii jednostkowego odpływu roztworów wyrażonego w $t/km^2 \cdot rok$ – ekstrapolowaliśmy na ukraińską i białoruską część dorzecza. Za podstawę ekstrapolacji przyjęto: jednostkowe wskaźniki odpływu wód rzecznych wykazane na odpowiednich mapach w opracowaniach monograficznych oraz warunki geologiczne i geomorfologiczne poszczególnych zlewni. Można podkreślić, że ekstrapolacja była ułatwiona dzięki temu, że po obu stronach Bugu występują tereny o bardzo podobnej i wręcz identycznej budowie geologicznej i rzeźbie (ryc. 1A). Niewątpliwie jednak stopień dokładności mapy rzeczno odpływu roztworów dla zachodniej (ukraińsko-białoruskiej) części dorzecza jest mniejszy niż dla części wschodniej. Wydaje się, że różnice te nie są tak duże, aby mogły powodować deformowanie obrazu odrębności regionalnych poszczególnych zlewni, którymi zajmujemy się w naszym opracowaniu.

W ramach studium nad bilansem rzeczno odpływu roztworów, wykonanego dla dorzecza Wisły (H. M a r u s z c z a k, M. W i l g a t 1991b), uwzględnione zostały m.in. dane dla całego dorzecza Bugu. Ponieważ górna część tego

* Dyrektorom tych instytucji, którzy wyrazili zgodę na udostępnienie danych, składamy serdeczne podziękowania.



Ryc. 1A. Zróźnicowanie fizycznogeograficzne dorzecza Bugu; 1 – wyżyny typu wołyńsko-podolskiego; 2 – niziny typu poleskiego; 3 – niziny i wysoczyzny typu mazowiecko-podlaskiego; 4 – dział wodny; 5 – granica państwowa

Physico-geographical differentiation in the Bug river catchment; 1 – uplands of the Volhynia-Podolia type; 2 – lowlands of the Polesiye type; 3 – lowlands and morainic plateaux of the Mazovia-Podlasiye type; 4 – watershed; 5 – state frontier

Ryc. 1B. Rzeczny odpływ rozтворów z terenów rolniczych w dorzeczu Bugu. Wskaźniki odpływu obliczone na podstawie średnich z pomiarów mineralizacji w latach 1976–1985 oraz jednostkowych odpływów wód rzecznych z lat 1950–1970

River solution yield from the rural areas in the Bug river catchment. The indices of the solution yield were calculated on the basis of the mean solution concentration in the years 1976–1985 and specific discharges of river waters in the years 1950–1970

Tab. 1. Wyniki obliczeń rzecznego odpływu rozтворów ze zlewni cząstkowych w dorzeczu Bugu, zestawione na podstawie danych pomiarowych z lat 1976–1985. Results of the calculations of the solution yield from the partial catchments in the Bug river catchment, completed on the basis of the measurement data in the years 1976–1985

Zlewnia ^a Catchment and gauging station	Powierz- chnia Area km ²	Przepływy Śr.-roczne skrajne Discharge mean annual extreme m ³ /s	Jednostkowe odpływy rozтворów w t/km ² ·rok (sumy wielkości miesięcznych, ilożyny średnich rocznych (dziesięcioletnich) Specific solute yield in t/km ² ·year sum of month values ratio of mean annual (ten-year) values													
			1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1976- 1985			
Bug górny Q – Strzyżów (536,6 km) R – Kryłów (579 km)	8.945	44,0 24,2 – 72,6	84 96	67 69	102 110	78 90	136 142	100 102	66 70	53 53	58 58	81 88	82 89			
Bug górny i górnorożkowy Q – Dorohusk (457,2 km) R – Dorohusk (458,0 km)	12.399	53,3 30,1 – 85,0	63 72	47 49	79 85	68 82	105 107	86 85	60 63	46 47	44 44	64 67	66 72			
Bug górny i środkowy Q – Krzyżew (268,7 km) R – Krzyżew (268,0 km)	26.284	104,8 66,1 – 158,3	40 41	40 40	54 57	56 58	73 76	57 58	48 49	36 36	35 53	44 45	48 50			
Bug powyżej Wyszkowa Q – Wyszków (33,8 km) R – Popowo	39.119	182,8 108,0 – 273,8	41/ 41/	44 44	68 63	62 60	78 78	68 67	47 51	39 40	30 30	45 45	52 52			
Wisła powyż. Tczewa Q – Tczew (908,6 km) R – Leszkowy (924 km)	194.376	1222 787 – 1780	61 65	82 85	77 79	96 101	111 115	103 102	78 84	73 80	65 67	78 80	82 87			

^a Q - punkt pomiaru przepływu; R - punkt pomiaru mineralizacji Q - runoff; R - solution
W tabeli zestawione są dane dla lat kalendarzowych, gdyż dane dotyczące mineralizacji w OBİKS gromadzone są w takim układzie. Wskaźniki podane w nawiasach obliczono na zasadzie interpolacji ze względu na brak pomiarów mineralizacji.

Tab. 2. Składowe odpływy rozтворów z analizowanych zlewni w dorzeczu Bugu obliczone na podstawie wyników pomiarów mineralizacji w latach 1976–1985; numeracja składowych jak w tekście
 Components of the solution yield from the studied catchments in the Bug river catchment calculated on the basis of the results of the solution concentration measurements in the years 1976–1985; numeration of the components as in the text

Zlewnia Catchment	Powierzchnia Area km ²	$\frac{t}{km^2 \cdot rok}$ %					$\frac{t}{km^2 \cdot year}$ %				
		z opadów atmosfer	z chemizacji rolnictwa	z wiejskich ścieków byt.gosp.	ze ściek. komunal. przem.	z chemicznej denudacji litosfery	z opadów atmosfer	z chemizacji rolnictwa	z wiejskich ścieków byt.gosp.	ze ściek. komunal. przem.	z chemicznej denudacji litosfery
Bug powyżej Strzyżowa	8.945	1 12,7	2 4,0 5,6	3 1,2 1,7	4 2,2 3,1	5 3,5 4,9	71 100				
Bug powyżej Dorohuska	12.399	8 13,8	3,2 6,7	1,1 1,9	11 19	34 59	58 100				
Bug między Dorohuskim i Krzyczewem	13.885	4 17,4	2,5 10,9	0,4 1,7	1 4	15 66	23 100				
Bug powyżej Krzyczewa	26.284	5 12,8	3,4 8,7	0,7 1,7	4 10	26 67	39 100				
Bug między Krzyczewem i Wyszkwem	12.835	4 9,4	3,4 8,1	0,5 1,3	6 14	28 67	42 100				
Bug powyżej Wyszkowa	39.119	5 12,5	3,4 8,0	0,6 1,5	4 10	27 68	40 100				
Wisła powy- żej Tczewa	194.376	9 13,8	6,5 10,0	1,0 1,5	18 28	30 46	65 100				

Wielkości bezwzględne składowych odpływu rozтворów podanych w kolumnie 1, 4 i 5 są zaokrąglone. Odpowiednio do tych zaokrąglonych wielkości obliczony jest ich udział w procentach, dlatego też suma udziałów procentowych 1–5 w niektórych przypadkach nie wynosi dokładnie 100%.

dorzecza jest silnie zanieczyszczona ściekami komunalno-przemysłowymi (Lwów oraz Wołyńskie Zagłębie Węglowe), dodatkowo wyodrębniono jeszcze zlewnię górnego Bugu powyżej Strzyżowa. Wodowskaz w Strzyżowie, z wieloletnimi pomiarami przepływów, był najodpowiedniejszy dla ilościowego określenia oddziaływania wielkich źródeł ścieków komunalnych i przemysłowych. Dla niniejszego studium zróżnicowania regionalnego niezbędne było uwzględnienie także innych punktów wodowskazowych.

Wodowskaz w Strzyżowie zamyka zlewnię górnego Bugu, która nie obejmuje całej wyżynnej części dorzecza (ryc. 1A i 1B). Spośród punktów wodowskazowych, dla których można było zgromadzić obie serie danych pomiarowych dla dziesięciolecia 1976–1985, bardziej odpowiedni dla zobrazowania stosunków właściwych dla części wyżynnej okazał się Dorohusk. Wprawdzie położony on jest już w obrębie nizinnej, poleskiej części, ale w jej strefie południowej. Region ten z morfologicznego punktu widzenia różni się dość wyraźnie od Wyżyny Wołyńskiej, ale charakteryzuje się dość powszechnym występowaniem na powierzchni skał górnokredowych wrażliwych na denudację chemiczną. Wskaźniki mineralizacji wód rzecznych są więc tutaj podobne jak w części wyżynnej.

Dla odgraniczenia nizin typu poleskiego i mazowiecko-podlaskiego najlepszy okazał się punkt wodowskazowy w Krzyczewie, położony poniżej ujścia Krzyny, a więc także i Muchawca. Zlewnie obu wymienionych dopływów Bugu w znacznej części obejmują tereny o cechach poleskich; tylko północne ich peryferie sięgają na obszar Niziny Podlaskiej (ryc. 1A).

Dla wszystkich uwzględnionych w opracowaniu punktów wodowskazowych na Bugu (Strzyżów, Dorohusk, Krzyczew, Wyszaków) mieliśmy 10-letnie serie pomiarów mineralizacji i przepływów wody w latach 1976–1985. Wybrane dane pomiarowe oraz wyniki obliczeń odpływu roztworów przedstawione są w tab. 1. Uwzględniono w niej wskaźniki roczne odpływu roztworów oraz średnie 10-letnie. Wskaźniki te były obliczone dwoma sposobami: z sumowania wielkości miesięcznych oraz z iloczynu rocznych wielkości przepływu i mineralizacji. Można przyjąć, że wyniki uzyskane oboma sposobami nie różnią się istotnie – w przypadku średnich rocznych z lat 1976–1985 różnice są od 0 do 8,5%. Dokładniejszy jest niewątpliwie sposób sumowania wielkości miesięcznych. Pomimo tego do dalszych obliczeń bilansowych wykorzystano dane uzyskane sposobem „iloczynów”. Wybór mniej dokładnego sposobu wynikał z intencji konsekwentnego postępowania metodycznego. Wskaźniki rzeczno odpływu roztworów z terenów rolniczych, wykazane na naszej mapie podstawowej (ryc. 1B), były bowiem obliczane jako iloczyny średniej wieloletniej mineralizacji oraz jednostkowych odpływów wody.

Rzeczne odpływy jednostkowe uwzględnione przy opracowaniu mapy podstawowej były obliczone głównie na podstawie danych z lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych (J. S t a c h y 1966). Przepływy w dziesięcioleciu 1976–1985 różniły się od nich bardzo istotnie – były znacznie wyższe w całym dorzeczu Bugu. Z analizy hydrologicznych danych pomiarowych wynika, że w latach 1971–1980 średnie roczne odpływy były wyższe niż średnie dwudziestoletnie 1951–1970 około 20% w górnej części dorzecza, a w dolnej nawet do 60% (J. S t a c h y 1984). Dlatego też wyników obliczeń odpływu roztworów w latach 1976–1985 nie można bezpośrednio wykorzystywać do obliczeń bilansowych struktury tego odpływu.

Do zestawień bilansowych wskaźnik średnich odpływów rzecznych z lat 1976–1985 należało „zredukować” do wielkości ustalonych dla lat 1951–1970. Faktyczne podstawy dla wykonania takiej redukcji mieliśmy dla wodowskazów w Strzyżowie i Wyszku. W obu pozostałych systematyczne pomiary przepływu rozpoczęto dopiero na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Dlatego też dla tych wodowskazów wykonaliśmy redukcję, ekstrapolując dane ustalone dla Strzyżowa i Wyszku. Można było przy tym zastosować najprostszą ekstrapolację dzięki temu, że w dorzeczu Bugu stwierdzona została wyraźna tendencja narastania z biegiem rzeki różnic między przepływami z lat 1951–1970 oraz 1971–1980 (J. S t a c h y 1984). Z analizy danych wynika, że średni roczny przepływ w latach 1976–1985 w Strzyżowie* był około 24% wyższy niż w dwudziestolecie 1951–1970, a w Wyszku o 31%. Ekstrapolowane wskaźniki tych różnic dla Dorohuska przyjmujemy w wysokości 25%, a dla Krzyczewa 27%. Odpowiednio do wielkości tych różnic zostały zredukowane przepływy w czterech analizowanych przekrojach wodowskazowych przy naszych obliczeniach bilansowych (wyniki przedstawione są w tab. 2).

Należy podkreślić, że zestawione (tab. 1 i 2) wyniki obliczeń odpływu roztworów obciążone są nie tylko błędami popełnianymi przy szacunkowej ocenie udziału poszczególnych składowych (tab. 2). Są one bowiem w dużym stopniu obarczone niedoskonałością (błędami?) pomiarów hydrologicznych. Wydaje się, że w przypadku punktów wodowskazowych na granicznym odcinku Bugu (Strzyżów, Dorohusk, Krzyczew) te „niedoskonałości” są bardzo istotne. Ocena taka wynika z analizy wielkości przepływów w latach 1976–1985, ustalonych przez IMiGW i zestawionych przez nas w tab. 1. Dane te wskazują, że między Strzyżowem i Dorohuskim przyrostowi zlewni o 39% odpowiada wzrost przepływów tylko o 21%. Teoretycznie obliczony odpływ jednostkowy dla zlewni różnicowej między Strzyżowem i Dorohuskim wynosiłby więc zaledwie 2,7 l/s.km², gdy dla zlewni powyżej Strzyżowa 4,9 l/s.km². Wynik taki budzi różne wątpliwości, szczególnie w zestawieniu z – teoretycznie także obliczonym – wskaźnikiem dla typowo poleskiej pod względem fizjograficznym zlewni różnicowej między Dorohuskim i Krzyczewem, który wynosi 3,7 l/s.km², czy wreszcie ze wskaźnikiem dla zlewni różnicowej między Krzyczewem i Wyszkiem (podlaski typ krajobrazu), wynoszącym aż 6,1 l/s.km². Jako szczególnie nieprawdopodobny oceniamy wskaźnik odpływu jednostkowego 2,7 l/s.km² ze zlewni różnicowej Strzyżów–Dorohusk. Dlatego też dla tej małej zlewni nie podjęliśmy próby bilansowego ujęcia struktury rzecznego odpływu roztworów.**

* Wyniki pomiarów przepływu Bugu w Strzyżowie uwzględnione są w publikacjach poczynając od 1961 r.; średnia roczna w dziesięcioleciu 1961–1970 wynosiła 38,6 m³/s (Przepływy charakterystyczne... 1951–1970, s. 546). Dziesięciolecie poprzedzające (1951–1960) było suchsze – przepływy Bugu w Wyszku były wówczas niższe niż w latach 1961–1970 o 17,5% (J. Stachy et al. 1977). Z takiej relacji wynikałoby, że w dziesięcioleciu 1951–1960 średni roczny przepływ w Strzyżowie wynosił około 32,0 m³/s. Średnia dla lat 1951–1970 wynosiła więc 35,3 m³/s. Wobec tego w analizowanym przez nas okresie 1976–1985 średni przepływ Bugu w Strzyżowie (44,0 m³/s) był wyższy o 24%.

** W zlewni różnicowej Strzyżów–Dorohusk opady są wyższe niż w typowo poleskiej części dorzecza Bugu (zlewnia Dorohusk–Krzyczew). Wprawdzie są one wyraźnie niższe niż w zlewni powyżej Strzyżowa, ale nie na tyle, aby można było wytłumaczyć zmniejszenie odpływów jednostkowych z 4,9 na 2,7 l/s.km². Gdyby pomiary przepływów w Strzyżowie i Dorohusku okazały się w pełni poprawne, to z takiego zesta-

Pomimo tych „niedoskonałości”, obarczających wyniki naszych obliczeń bilansowych rzecznego odpływu roztworów, zasługują one chyba na uwagę. Krytyczna ich interpretacja daje bowiem podstawę do ilościowego określenia niektórych wskaźników regionalnego zróżnicowania dorzecza Bugu.

ZRÓŻNICOWANIE REGIONALNE GEOSYSTEMÓW W DORZECZU BUGU

Różnice między trzema, wymienionymi we wstępie, częściami dorzecza nie najlepiej rysują się w świetle danych hydrologicznych. Nawet wtedy, gdy pominiemy małą zlewnię różnicową Strzyżów–Dorohusk, to w świetle wskaźników odpływów jednostkowych (górną część wyżynna, wołyńska – 4,9 l/s.km²; środkowa część nizinna, poleska – 3,7 l/s.km²; dolną część nizinno-wysoczyznowa, podlaska – 6,1 l/s.km²) rysuje się obraz niezbyt spójny, nastęrczający wątpliwości. Podkreśliliśmy to, krytycznie oceniając niedoskonałości pomiarów hydrologicznych.

Ujęcia bilansowe struktury rzecznego odpływu roztworów w dorzeczu Bugu przedstawiają zróżnicowanie raczej w sposób przekonujący, wewnątrznie spójny i logiczny.

G ó r n a , w y ż y n n a c z ę ś ć d o r z e c z a (zlewnia powyżej Strzyżowa). Obejmuje ona zachodnią część Wyżyny Wołyńskiej i Kotlinę Pobuża wraz z obrzeżającymi ją od południa odcinkami strefy krawędziowej Rostocza Południowego (Rawskiego) oraz Podola (ryc. 1A). Przeważają tutaj geosystemy typu wyżyn lessowych oraz wyżyn wapiennych (węglanowych). Są to tereny z urodzajnymi glebami i gęsto zasiedlone. W strukturze użytkowania ziemi dominują grunty orne. Wymienione dwie zasadnicze jednostki regionalne różnią się dość istotnie pod względem warunków kształtowania odpływu roztworów. Brak jest odpowiednich danych dla zaprezentowania tych różnic wewnętrznych.

Górna część dorzecza wyróżnia się wysokim wskaźnikiem ogólnego odpływu roztworów, wyraźnie wyższym od średniego dla dorzecza Wisły (tab. 2). Spośród dopływów Wisły podobny wskaźnik odpływu roztworów ma dorzecze Sanu (H. M a r u s z c z a k i M. W i l g a t 1991b), którego górna część należy do Karpat. Tak wysoki odpływ roztworów z górnej części dorzecza Bugu zawdzięczamy w znacznym stopniu intensywnej denudacji chemicznej w strefie krawędziowej Rostocza i Podola (ryc. 1B). Jeśli przeciętny wskaźnik takiej denudacji w zlewni powyżej Strzyżowa wynosi około 35 t/km².rok, to na krawędzi Rostocza i Podola przekracza on zapewne 50 t/km².rok, a w północnej części Kotliny Pobuża obniża się do około 25 t/km².rok.

Struktura odpływu roztworów z tej części dorzecza wyróżnia się najwyższym (przekraczającym 50%) udziałem składowych związanych z działalnością człowieka. Wśród antropogenicznych składowych zdecydowanie przeważają ścieki komunalno-przemysłowe

wienia wskaźników należałoby wyciągnąć wniosek, że między Strzyżowem i Dorohuskim występuje zjawisko znacznej „ucieczki” wód powierzchniowych (być może w strefie oddziaływania „uskułu włodzimierskiego” w głębokim podłożu?). Ponieważ zjawisko takie chyba nie było dotychczas sygnalizowane w literaturze, skłonni jesteśmy przypuszczać, że przedstawiona relacja dwu wymienionych wskaźników odpływu jednostkowego jest raczej konsekwencją usterek w pomiarach przepływów Bugu.

we. Udział tych ścieków jest najwyższy w zlewni Peltwi (lewy dopływ Bugu), w granicach której znajduje się dominująca część aglomeracji lwowskiej. W tej zlewni udział składowych antropogenicznych jest niewątpliwie znacznie wyższy od przeciętnego dla omawianej części dorzecza Bugu (prawdopodobnie przekracza on obecnie 90%).

Środkowa, nizinna część dorzecza (zlewnia różnicowa między Dorohuskim i Krzyczewem) obejmuje zachodnią część Niziny Poleskiej (ryc. 1A). Charakteryzuje się najniższym zróżnicowaniem warunków kształtowania odpływu roztworów. Wśród płaskich równin dużą rolę odgrywają tereny podmokłe i zabagnione. Gleby są słabe, a gęstość zaludnienia najmniejsza w całym dorzeczu Bugu. Udział gruntów ornych w wielu rejonach jest znacznie mniejszy niż łąk i pastwisk.

W poleskiej części dorzecza odpływ ogólny roztworów jest trzykrotnie niższy. Naturalna składowa, pochodząca z chemicznej denudacji litosfery, jest więc także znacznie niższa niż w górnej części dorzecza Bugu, ale jej udział jest wyraźnie wyższy. Przy średniej jej wielkości (wynoszącej $15 \text{ t/km}^2 \cdot \text{rok}$) skrajnie wahają się zapewne od około $10 \text{ t/km}^2 \cdot \text{rok}$ w terenach najsilniej zabagnionych do $20 \text{ t/km}^2 \cdot \text{rok}$ w obrębie zdenudowanych wysoczyzn w strefach marginalnych form akumulacji glacialnej z okresu zlodowacenia środkowopolskiego. Wśród składowych antropogenicznych przeważa pochodząca z opadów atmosferycznych. Rola składowej związanej z chemizacją rolnictwa jest mniejsza – odpowiednio do małego udziału gruntów ornych oraz niskiego poziomu kultury rolnej.

Geosystem poleski reprezentuje jeden z najbardziej skrajnych typów krajobrazowych. W dorzeczu Wisły wyróżnia się on zdecydowanie najniższą chemiczną denudacją litosfery.

Dolna, nizinno-wysoczyznowa część dorzecza (zlewnia różnicowa między Krzyczewem i Wyszkiem) obejmuje południową część Niziny Podlaskiej oraz środkowowschodnią część Niziny Mazowieckiej. Przeważają tutaj słabiej niż w środkowej części zdenudowane formy akumulacji glacialnej oraz fluwioglacialnej z okresu zlodowacenia warciańskiego. Jako najbardziej reprezentatywne można byłoby wymienić geosystemy o cechach pośrednich między właściwymi dla wysoczyzn środkowo- i młodoplejstoceńskich. Gleby są więc bardziej urodzajne, a gęstość zaludnienia większa. Udział gruntów ornych jest większy, a użytków zielonych znacznie mniejszy niż w poleskiej części dorzecza.

Odpływ ogólny roztworów jest prawie dwukrotnie wyższy niż w części poleskiej, co tłumaczy się tym, że wody gruntowe drenują utwory mniej zwietrzałe, bardziej zasobne w węglany. W strukturze odpływu przeważa składowa pochodząca z chemicznej denudacji litosfery. Wśród składowych związanych z działalnością człowieka przeważają ścieki komunalno-przemysłowe. Ich udział, wykazany w naszym zestawieniu, prawdopodobnie jest nieco zawyżony, co zapewne jest wynikiem „niedoskonałości” danych hydrologicznych. Można podkreślić, że teoretycznie obliczony dla tej zlewni różnicowej wskaźnik jednostkowych odpływów rzecznych ($6,1 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$) wydaje się zawyżony. Wpłynęło to na wyniki naszych obliczeń bilansowych (tab. 2). Dlatego nie dołączamy do nich bardziej szczegółowego komentarza.

WNIOSKI

1. Zastosowana przez nas bilansowa analiza struktury rzecznej odpływu roztworów okazała się najbardziej odpowiednia dla porównywania geosystemów mniejszych dorzeczy (2–4 tys. km²), o mało zróżnicowanych warunkach kształtowania odpływu. Wykazał to przykład opracowania odnoszącego się do obszarów nizinnych w dorzeczu Wisły (H. Maruszczak i M. Wilgat 1991a). W następnym etapie podjęliśmy próbę studium zmian bilansu odpływu roztworów dla większych dorzeczy, wyraźnie zróżnicowanych pod względem geograficznym. Studium takie można podejmować tylko w przypadku, gdy mamy dane hydrometryczne (pomiar mineralizacji i przepływów wody) z kilku punktów wodowskazowych odpowiednio rozmieszczonych wzdłuż biegu rzeki głównej.

2. Prezentowany przykład studium zmian bilansu odpływu roztworów wzdłuż biegu Bugu okazał się raczej niezbyt wdzięczny. Wynika to z niedoskonałości pomiarów przepływu, wykonywanych przez IMiGW w punktach wodowskazowych na granicznym odcinku tej rzeki. Wyniki ujęć bilansowych, wykonanych dla zlewni powyżej wodowskazów w Strzyżowie, Dorohusku, Krzyczewie i Wyszku, okazały się więc obciążone podwójnymi błędami. Jedne były popełniane przy obliczaniu lub szacunkowej ocenie ilościowego udziału poszczególnych składników odpływu roztworów, a drugie wiązały się z walorami pomiarów przepływu.

3. Pomimo takiego obciążenia błędami wyniki uzyskane dla dorzecza Bugu zasługują na uwagę. Po krytycznej ich analizie i odrzuceniu najbardziej wątpliwych wyników otrzymaliśmy wskaźniki zróżnicowania warunków kształtowania się odpływu roztworów w górnej (wyżynnej, czyli wołyńskiej), środkowej (nizinnej, czyli poleskiej) i dolnej (nizinno-wysoczyznowej, czyli podlaskiej) części dorzecza. Wyniki te pozwoliły na określenie za pomocą danych liczbowych zróżnicowania natężenia naturalnej, chemicznej denudacji litosfery.

LITERATURA

- K o n d r a c k i J. 1977, Regiony fizycznogeograficzne Polski. Wyd. UW, Warszawa.
- M a r u s z c z a k H. 1986, Próba bilansu odpływu chemicznego z dorzecza Wisły. II Zjazd Geografów Polskich, streszcz. referatów, Łódź, 115–118.
- M a r u s z c z a k H. 1987, Uwagi do nowego podziału Polski na jednostki geomorfologiczne. *Przełęcz Geogr.*, 59, 1–2, 139–146.
- M a r u s z c z a k H. 1990a, Denudacja chemiczna (sum. Chemical denudation). [W:] Współczesne przemiany rzeźby Polski południowoschodniej. *Prace Geogr. IGIPZ PAN*, 153, 23–41.
- M a r u s z c z a k H. 1990b, Sediment transport in the Vistula drainage basin. [In:] Evolution of the Vistula River valley during the last 15,000 years, part 3. *Geogr. Studies, spec. issue 5, Inst. Geogr. Spatial Org., Polish Acad. Scis., „Ossolineum”, Wrocław*, 85–90.
- M a r u s z c z a k H., W i l g a t M. 1991a, Struktura rzecznej odpływu roztworów jako wskaźnik przewodnich cech geosystemów zlewni nizinnych w dorzeczu Wisły (sum. Structure of river solution yield as indicator of principle features of geosystems in lowland catchments of the Vistula river basin). *Geografia*, Wydawn. UAM, Poznań (w druku).
- M a r u s z c z a k H., W i l g a t M. 1991b, Próba bilansowego ujęcia rzecznej odpływu roztworów w zlewni Wisły (w druku).
- P a w l i k – D o b r o w o l s k i J. 1983, Zmiany składu chemicznego wód powierzchniowych pod wpływem zanieczyszczeń obszarowych w Karpatach Zachodnich. *Inst. Melior. i Użytków Zielonych*, rozprawa habilitacyjna, Falenty.
- P o n d e l H., T e r e l a k H. 1981, Skład chemiczny wód drenarskich jako podstawa oceny strat składników mineralnych wymywanych do wód gruntowych (sum. Chemical composition of drainage

- waters as a basis for evaluation of mineral element losses by leading out to the ground waters). Pam. Puł., 75, 149–167.
- P o n d e l H., T e r e l a k H. 1986, Skład chemiczny wód opadowych oraz wód glebowo-gruntowych w rejonie Puław (sum. Chemical composition of the rainfall and the ground waters in the vicinity of Puławy). Pam. Puł., 88, 57–70.
- P o n d e l H., T e r e l a k H., S a d u r s k a E. 1978, Skład chemiczny wód w dorzeczu Bystrej, Wyżyna Lubelska (sum. Chemical composition of waters in Bystra drainage basin, Upland of Lublin). Pam. Puł., 70, 7–22.
- Przepływy charakterystyczne rzek polskich w latach 1951–1970. IMiGW, Wydawn. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1980.
- S t a c h y J. 1966, Rozmieszczenie odpływu średniego na obszarze Polski (sum. The distribution of the mean run-off in Poland). Pr. PIHM, 88, 3–42.
- S t a c h y J. 1984, Odpływ rzek polskich w latach 1971–1980 na tle danych wieloletnich. Cz. I i II (sum. Runoff of Polish river basins in the period 1971–1980 on the strength of many years' data). Gosp. Wodna, 44, nr 5 i 6, 138–141 i 163–168.
- S t a c h y J., B i e r n a t B., D o b r z y Ń s k a J. 1977, Odpływ rzek polskich w latach 1951–1970 (sum. Outflow from Polish rivers in the years 1951–1970). Gosp. Wodna, 37, 3, 71–78.
- W i ą c k o w s k i S.K. 1989, Wybrane zagadnienia ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczego człowieka. PWN, Warszawa, 299.
- W i l a m s k i J., Ś l i w a Z. 1978, Spływ składników nawozowych roślin ze zlewni rzek Przymorza Zachodniego (sum. Outflow of fertilizer elements of plants from catchment areas of rivers of the Przymorze Zachodnie region). Mat. Bad. IMiGW, Ser.: Gosp. Wod. i Ochr. Wód, 25.

SUMMARY

Hydrometric investigations of the solutions in the Vistula river basin were the basis for obtaining: a) the map of the river solution yield from the rural areas, b) the balance analysis of the solution yield structure (Maruszczak 1990 a, b, Maruszczak and Wilgat 1991 b). It appears that the solution yield structure – i.e. estimation of the percentage of its main components coming from different sources – can be interpreted as a rate of individual character of the geosystems typical of the studied catchment (Maruszczak and Wilgat 1991 a). Apart from the elementary balance expressions concerning the whole catchments, we have made an attempt at following balance changes down a bigger river such as the Bug river. Its catchment is distinctly differentiated in the physico-geographical respect. It should be stressed that the Bug river is a frontier between Poland and Ukraine and Byelorussia. However, the territories on both sides of it have very similar and even identical geologic structure and relief (Fig. 1A). This allowed us to make an extrapolation of the results of analysis of the detailed data from the Polish part of the catchment for the foreign one.

Total solution yield was calculated in a simplified way, taking into consideration the mean solution concentration and average discharge of river waters. Apart from this, also other data (necessary for estimation of the percentage of the solution yield components) were taken into consideration. There were taken into account the components coming from: 1) precipitations (estimated according to the results of investigations of their chemical composition); 2) agricultural chemization (according to estimation of the loss of applied doses of fertilizers); 3) farming sewage (estimated according to the population density and the level of cultivation of the soil); 4) municipal and industrial sewage (according to the difference between the calculation of the total solution yield and the solution yield from rural areas); 5) chemical denudation of the lithosphere (the result of subtracting the sum of components 1–4 from the total solution yield). The structure of the solution yield was defined for the catchments closed by the following gauging stations on the Bug river: Strzyżów, Dorohusk, Krzyczew, Wyszaków (Fig. 1B). Apart from the results of calculations made for the catchments closed by these four gauging stations, in the Tab. 2 the indices for the partial catchments between the gauging stations at Dorohusk and Krzyczew (the lowland, Polesiye part of the Bug river catchment), and between Krzyczew and Wyszaków (the lowland and morianic plateau, Podlasiye part of the catchment) were presented. It should be stressed that the enclosed map of the river solution yield from rural areas (Fig. 1B) was made according to data from the measurement points on smaller rivers, not polluted by municipal and industrial sewage.

The presented balance expression is a quantitative illustration of the differentiation of the geosystems in three main parts of the Bug river catchment. The upper, upland part (up-stream of the Strzyżów gauging station) mainly built of carbonate rocks largely covered by loesses is most densely populated. It is

distinguishable by the highest index of the total solution yield; the components 1–4, i.e. directly or indirectly (the first component) connected with human activity, slightly prevail in its structure. The municipal and industrial sewage coming from Lvov (about one million of inhabitants) and from Volhynia Coal Basin dominates among these anthropogenic components. Though the natural component makes less than 50%, it evidences intensive chemical denudation of the lithosphere; in places the index of this denudation surely exceeds $50 \text{ t/km}^2 \cdot \text{year}$ in the highest part of the catchment, i.e. in the edge zone of Podolia and Roztocze. The middle, lowland Polesiye part of the catchment (between the gauging stations at Dorohusk and Krzyczew) is mainly covered by the middle-Pleistocene, strongly weathered deposits with poor soils. It is distinguishable by the lowest index of the solution yield and of chemical denudation of the lithosphere; the second index decreases to about $10 \text{ t/km}^2 \cdot \text{year}$ in the most boggy areas. The percentage of the anthropogenic components is small here, according to the very small population density and poor industrialization. The lower, lowland and morainic plateau, Podlasiye part of the catchment (between the gauging stations at Krzyczew and Wyszaków) is covered by the younger glacial deposits, which are considerably less weathered than in the middle part; the soils are adequately better and the population density higher. Therefore, the indices of the total solution yield and of chemical denudation of the lithosphere are higher. To emphasize the features of the distinguished catchments and the whole Bug river catchment, the adequate data for the Vistula river basin are presented in the tables.