

STANISŁAW POLAK, ANDRZEJ PŁUŻAŃSKI

SPOSÓB UŻYTKOWANIA ZLEWNI — CZYNNIKIEM WIELKOŚCI ŁADUNKÓW ZWIĄZKÓW AZOTU W WODACH POWIERZCHNIOWYCH

Niniejsza praca opiera się na badaniach przeprowadzonych w latach 1974—1978 w zlewniach: górnego Sanu, Solinki, Czarnego, Wołkowyjki, Daszówki i Pani-szczówki. Są to niewielkie rzeki górskie na terenie Bieszczadów, będące bezpośrednimi dopływami Zbiornika Solińskiego. Za pomocą analizy matematycznej starano się określić wpływ czynników gospodarczych zlewni na ładunki związków azotu w wymienionych rzekach.

I. WSTĘP I CEL PRACY

Rozwój gospodarczy kraju spowodował wzrost zapotrzebowania nie tylko na wodę, ale także i na produkty rolne. W związku z tym wzrasta ilość wód ściekowych i składników biogenych w wodach powierzchniowych. Zlewnie o intensywnym rozwoju rolniczym i przemysłu rolno-spożywczego mogą dostarczyć do cieku około $6000 \text{ kg/km}^2\text{N}$ [11].

Związki azotu obok związków fosforu wywierają działanie biogenne w wodach powierzchniowych polegające na intensyfikowaniu rozwoju flory. W konsekwencji, przy nadmiernej podaży, zachodzi niepożądany proces eutrofizacji, rozpoczynający się silnym rozwojem glonów, obserwowanym przy koncentracjach mineralnych związków fosforu i azotu już na poziomie $0,01 \text{ mg/dm}^3\text{P}$ i $0,3 \text{ mg/dm}^3\text{N}$ [1].

Związki azotu masowo rozprzestrzeniane w środowisku, zwłaszcza na skutek nawożenia gleb, spłukiwane są do wód powierzchniowych w ilościach zależnych od: intensywności gospodarki rolnej, wysokości opadów, parametrów fizjograficznych terenu i innych czynników. Sprenger przyjmuje [7], że wymywaniu ulega około 20% zastosowanych nawozów

azotowych. Podobne liczby (10—25%) podaje Vollenweider [11] dla warunków centralnej Europy. Również w Polsce zwiększenie tempa eutrofizacji rzek i jezior stało się problemem o dużym znaczeniu gospodarczym. Poznanie głównych źródeł substancji biogenych oraz mechanizmów ich przenikania do wód powierzchniowych jest podstawowym warunkiem skutecznego przeciwdziałania niepożądanym następstwom.

Bezpośrednio dostępne florze wodnej związki azotu to azotany i sole amonowe. Jednak również organiczne formy azotu, na skutek procesów biochemicznego utleniania, podlegają przemianom w formy przyswajalne [8] i winny być uwzględnione w ogólnym bilansie.

Autorzy niniejszej pracy podjęli próbę ustalenia związków pomiędzy sposobem i intensywnością zagospodarowania zlewni a ładunkami związków azotu w głównych ciekach tych zlewni. Praca dotyczy zlewni Zbiornika Solińskiego i może okazać się pomocną przy opracowaniu koncepcji ochrony jego wód.

II. METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono w zlewniach głównych dopływów Zbiornika Solińskiego rzek: Sanu, Solinki, Czarnego, Wołkowyjki, Daszówki i Paniszczówki, w okresie lat 1974—1978. Wyniki badań przeprowadzone wyrywkowo i niesystematycznie w 1975 r. w niniejszej pracy nie zostały uwzględnione.

Cały cykl podzielić można na dwa następujące okresy różniące się częstotliwością badań terenowych:

- rok 1974 — badania fizykochemiczne i hydrologiczne przeprowadzono w każdej zlewni 3 razy w miesiącu (dekadowo) zawsze około 1. 10. i 20.
- lata 1976—1978 — badania przeprowadzono raz w miesiącu.

Okres pierwszy posłużył do ujawnienia zasadniczych zależności. W okresie drugim zależności te weryfikowano, uściślano, oraz rejestrowano zmiany zachodzące wraz z intensyfikacją gospodarczą badanych zlewni. Wnioski zawarte w niniejszej pracy dotyczą obserwacji z całego cyklu badań.

Próby do badań fizykochemicznych pobierano przy ujściach rzek do Zbiornika Solińskiego na rzędnej około 420 m n.p.m. w miejscach, gdzie stwierdzono jeszcze swobodny przepływ wody. Wykonywano analizy zawartości azotu organicznego, azotanowego, amonowego. Przepływy dla Sanu, Solinki i Czarnego określono w oparciu o pomiary Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Oddział w Solinie. Pomiary przepływów na pozostałych rzekach w 1974 r. wykonywano bezpośrednio, a w późniejszym okresie ustalono na podstawie odczytów zainstalowanych wodowskazów.

Średnie roczne przepływy z okresu pomiarów przedstawiono graficznie

jako funkcję przepływów średnich wieloletnich. Wyliczono średnie kwartalne, roczne i całego okresu badań ładunki dobowe omawianych wskaźników. Za podstawę dalszej analizy przyjęto dobowe ładunki jednostkowe, odpowiadające powierzchni 1 km² zlewni, wyrażone w kg/d · km². Współczynniki nieregularności ładunków jednostkowych stanowią ilorazy wartości skrajnych dla danego okresu.

Dane dotyczące zagospodarowania zlewni uzyskano w byłym Urzędzie Powiatowym w Lesku, a następnie w Urzędzie Wojewódzkim w Krośnie i Urzędach Gminnych w Wołkowyi, Czarnej, Lutowiskach, Cisnej. Ponieważ 129 km² zlewni Sanu znajduje się na przygranicznym terytorium ZSRR, przyjęto dla tego terenu wskaźniki zagospodarowania jak dla posiadającej ten sam charakter naturalny gminy Lutowiska. Intensywność gospodarczą omawianych zlewni przedstawiono za pomocą wskaźników odnoszących się do powierzchni 1 km².

W celu uchwycenia zależności pomiędzy intensywnością zagospodarowania zlewni a ładunkami analizowanych wskaźników średnie dla każdego roku badań ładunki jednostkowe (\bar{L}_j) starano się przedstawić jako funkcję pięciu następujących elementów zagospodarowania: A — hodowli razem (sztuk/km²), B — powierzchni gruntów ornych (%), C — powierzchni łąk i pastwisk (%), D — powierzchni lasów (%), E — intensywności nawożenia azotowego (kg/km²N). Dla poszczególnych zlewni ułożono równania wg schematu:

$$Ax_1 + Bx_2 + Cx_3 + Dx_4 + Ex_5 = \bar{L}_j + d$$

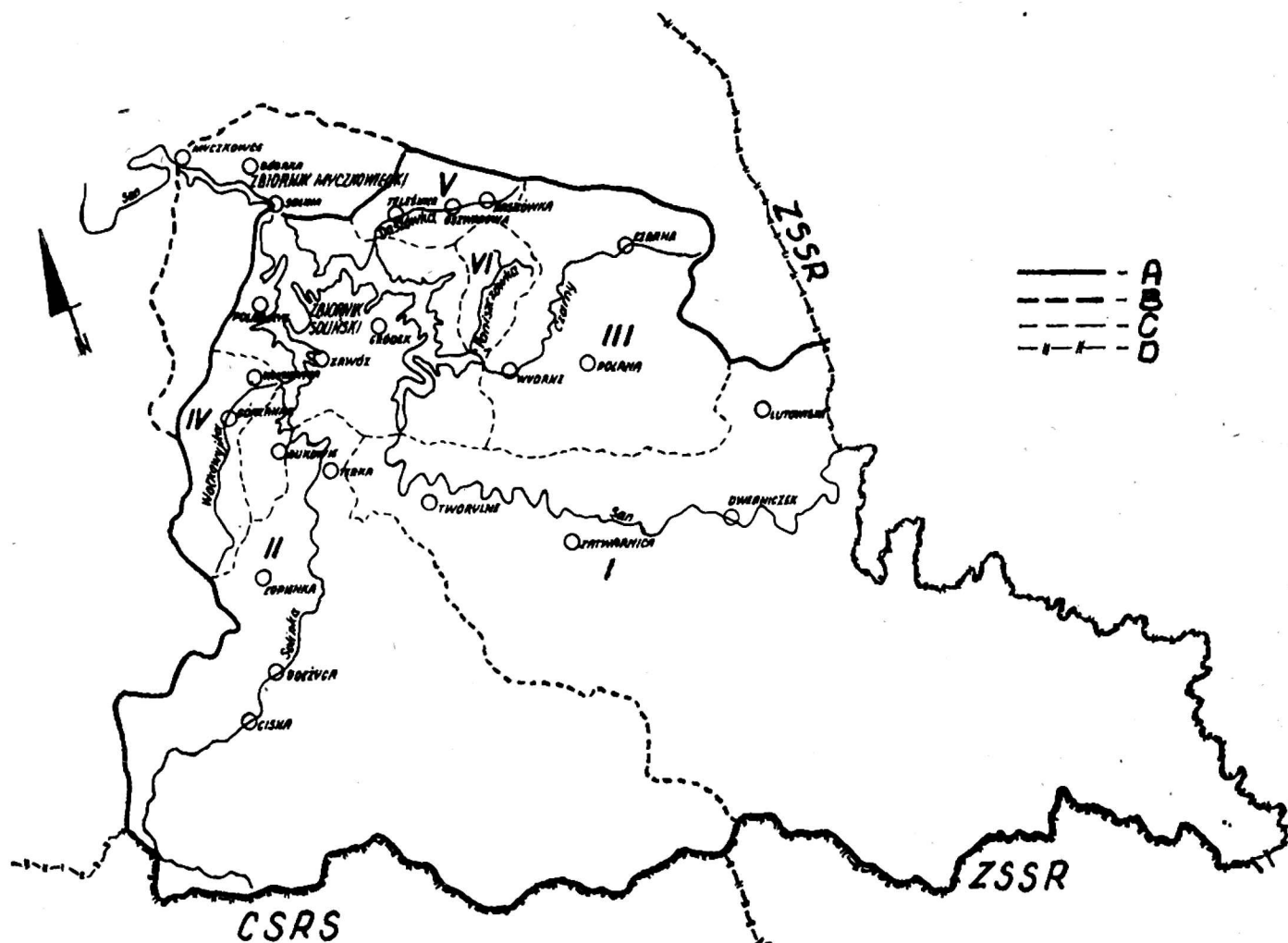
Dla każdego z analizowanych wskaźników uzyskano układy sześciu równań z pięcioma niewiadomymi rozwiązywane oddzielnie dla kolejnych lat badań. Metodą najmniejszych kwadratów, zakładając $d = \text{minimum}$, wyliczono współczynniki ($x_1 \dots x_5$), błędy statystyczne współczynników oraz poprawki (d) dla poszczególnych dopływów. Dla współczynników dodatnich wyznaczono poziomy istotności (α) z ich stosunków do błędów statystycznych [6]. Wyliczeń dokonano za pomocą maszyny cyfrowej „Odra EMC-1200”.

III. CHARAKTERYSTYKA I ZAGOSPODAROWANIE ZLEWNI

Analizowane zlewnie (ryc. 1) leżą w całości w górskim terenie. Przeważają utwory fliszowe, piaskowce, łupki i podrzędne margle o charakterze skalistym. Gleby uprawne typowo górskie są przeważnie gliniaste z domieszkami żwiru, piasku i kamieni. Koryta rzek posiadają erozyjny charakter o skalistych i kamienistych dnach [3].

Podstawowe parametry fizjograficzne i hydrologiczne zlewni i ich głównych cieków [2, 9] zestawiono w tabeli 1.

Widoczne jest duże zróżnicowanie przepływów rzek oraz powierzchni



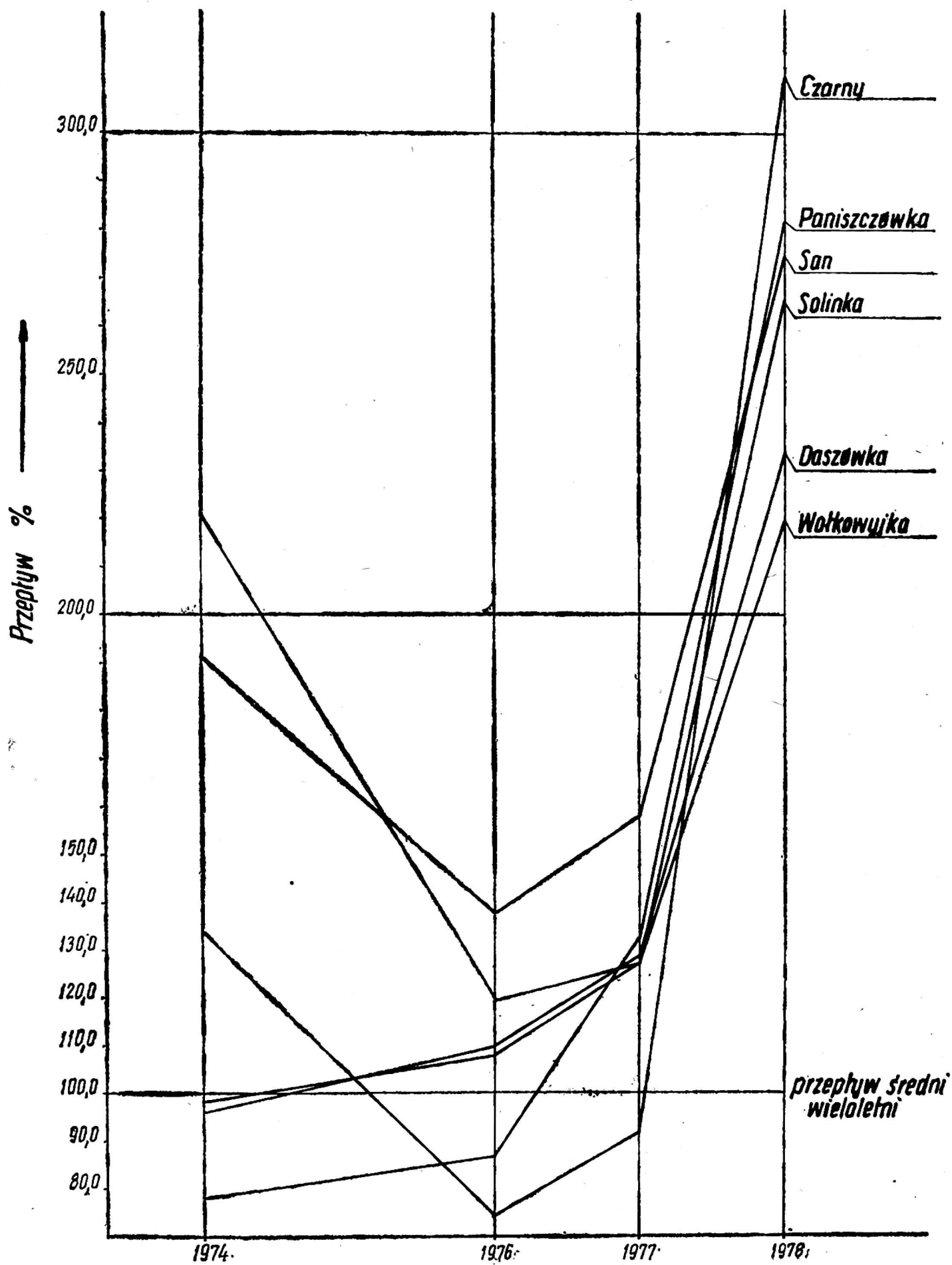
Ryc. 1. Zlewnia Zbiornika Solińskiego. A — granica zlewni Zbiornika Solińskiego — 1174,5 km², B — granica zlewni Zbiornika Myczkowieckiego — 1248,0 km², C — granice zlewni dopływów, D — granica państwa; I. — zlewnia Sanu — 603,66 km², II. zlewnia Solinki — 307,55 km², III. zlewnia Czarnego — 89,99 km², IV. zlewnia Wołkowyjki — 29,94 km², V. zlewnia Daszówki — 29,52 km², VI. zlewnia Paniszczówki — 16,86 km²

Fig. 1. Drainage area of the Solina reservoir. A — boundary of drainage area of the Solina reservoir — 1174.5 km², B — boundary of drainage area of the Myczkowce reservoir — 1248 km², C — boundaries of drainage basins of affluents, D — state boundary; I. — drainage basin of the San — 603.66 km², II. drainage basin of the Solinka — 307.55 km², III. drainage basin of the Czarny — 89.99 km², IV. drainage basin of the Wołkowyjka — 29.94 km², V. drainage basin of the Daszówka — 29.52 km², VI. drainage basin of the Paniszczówka — 16.86 km²

zlewni. Powierzchnia najmniejszej zlewni Paniszczówki (16,86 km²) stanowi około 2,8% powierzchni największej zlewni—Sanu (603,66 km²), długość Paniszczówki (6,5 km) — około 7% długości Sanu (92,4 km), a średni wieloletni przepływ Paniszczówki (0,37 m³/s) — około 3,7% przepływu Sanu (10,04 m³/s). Wyróżnić można zlewnie duże Sanu i Solinki, zlewnie małe Wołkowyjki, Daszówki i Paniszczówki oraz pośrednią zlewnię Czarnego. Wyższe średnie wieloletnie spływy jednostkowe charakteryzują zlewnie małe. Najmniejszy spływ w zlewni Sanu (16,63 dm³/s. km²) stanowi około 75,7% maksymalnego spływu stwierdzonego w zlewni Paniszczówki (21,95 dm³/s. km²). Maksymalne i średnie wysokości zlewni są duże, typowe dla terenów górskich. Wysokości minimalne charakteryzują ujścia rzek do

Hydrologiczne i fizjograficzne parametry rzek i zlewni
 Hydrological and physiographic parameters of rivers and drainage areas

Lp.	Parametr Parameter	Jednostka Unit	San	Solinka	Czarny	Wolko- wyjka	Daszówka	Panisz- czówka
1	Długość rzeki Length of river	km	92,4	41,3	18,3	9,6	8,3	6,5
2	Spadek rzeki Stream gradient	‰	4,55	12,76	9,76	22,08	21,2	16,69
3	Przepływ średni: Average flow: wieloletni of many years	m ³ /s	10,04	5,54	1,88	0,65	0,53	0,37
	w 1974 r.	"	19,19	12,21	2,53	0,64	0,51	0,29
	w 1976 r.	"	13,81	6,63	1,40	0,70	0,58	0,32
	w 1977 r.	"	15,86	7,08	1,72	0,83	0,68	0,49
	w 1978 r.	"	27,69	14,76	5,89	1,43	1,24	1,05
4	Powierzchnia zlewni Superficy drainage area	km ²	603,66	307,55	89,89	29,94	24,52	16,86
5	Wysokość zlewni Altitude of drainage area	m n.p.m.	1348,0	1303,7	894,0	904,5	755,1	657,1
	maksymalna maximal	"	741,0	750,5	593,8	586,5	538,5	528,5
	średnia average	—	33,77	50,38	50,00	88,00	67,70	57,69
6	Stoczystość zlewni Declivity drainage area	—	33,77	50,38	50,00	88,00	67,70	57,69
7	Spływ jednostkowy średni average elementary flowage wieloletni of many years	dm ³ /s · km ²	16,63	18,01	20,91	21,71	21,62	21,95
	w 1974 r.	"	31,79	39,69	28,17	21,31	20,75	17,04
	w 1976 r.	"	22,87	21,55	15,63	23,49	23,63	19,18
	w 1977 r.	"	26,27	23,03	19,12	27,64	27,63	28,85
	w 1978 r.	"	45,87	48,00	65,52	47,87	50,70	62,14



Ryc. 2. Zmiany średnich rocznych przepływów

Fig. 2. Changes in mean annual flows

Zbiornika Solińskiego i przy maksymalnym piętrzeniu leżą na rzędnej 420 m n.p.m. Rzeki wykazują duże spadki, a ich zlewnie wysoką stoczystość, przy czym parametry te wyższe są w zlewniach małych. Maksymalny spadek — 22,08‰ i stoczystość 88,57 stwierdzono w zlewni Wołkowyjki. Minimum (4,55‰ i 33,77) charakteryzują zlewnię Sanu. Stwierdzono dużą nieregularność średnich rocznych przepływów oraz spływów jednostkowych. W odniesieniu do średnich wieloletnich przepływy średnie roczne były na ogół znacznie wyższe (ryc. 2), zwłaszcza dla Sanu i Solinki (w całym okresie badań). Rok 1974 charakteryzował się wyższymi od średnich wieloletnich przepływami w Sanie, Solince i Czarnym oraz nieco mniejszymi przepływami w rzekach małych. W 1976 r. zaobserwowano pewne wyrównanie przepływów przy zachowaniu z wyjątkiem Czarnego wyżej podanej relacji. W 1977 r. zanotowano niewielki wzrost przepływów, a następnie w 1978 r. wzrost bardzo wyraźny z wystąpieniem maksimów dla wszystkich rzek.

Współczynniki nieregularności średnich rocznych przepływów i spływów jednostkowych wynoszą:

dla Sanu	2,01
dla Solinki	2,23
dla Czarnego	4,21
dla Wołkowyjki	2,23
dla Daszówki	2,43
dla Paniszczówki	3,62

Okres badań charakteryzował się więc dużą zmiennością parametrów hydrologicznych kształtujących się na ogół powyżej średnich wieloletnich wartości, przy czym widoczne są różnice dla poszczególnych rzek. Szczególnie zwraca uwagę rok 1978, w którym średnie roczne przepływy zawarte były w granicach 220‰ (Wołkowyjka) — 313‰ (Czarny) średniego wieloletniego przepływu.

Wskaźniki zagospodarowania w przeliczeniu na 1 km² powierzchni zlewni podano w tabeli 2. Jak wynika z przytoczonych danych, główną formą zagospodarowania jest gospodarka leśna. Powierzchnie lasów obejmują od około 78—79‰ powierzchni w najsilniej zalesionych zlewniach Sanu i Solinki do 31‰ w zlewni Paniszczówki. W pozostałych zlewniach zalesienie przekracza 50‰. W okresie badań wielkości powierzchni leśnych nie ulegały większym zmianom. Jedynie w zlewni Czarnego zanotowano zmniejszenie zalesienia z 64‰ w latach 1974—1977 do 56,9‰ w 1978 r.

Zaludnienie wykazuje tendencje wzrostowe ale ogólnie utrzymywało się na niskim poziomie, zwłaszcza w zlewniach Sanu i Solinki (5,6 i 7,5 osób/km²). Najgęściej zaludnione są zlewnie Daszówki (31,4 osób/km²) i Wołkowyjki (30,8 osób/km²).

Stan pogłowia zwierząt hodowlanych w zasadzie proporcjonalny do gęstości zaludnienia najwyższy jest w zlewniach Wołkowyjki i Daszówki. Zwraca uwagę progresja pogłowia owiec.

Powierzchnie gruntów ornych są niewielkie, szczególnie w zlewniach

Zagospodarowanie zlewni
Management of drainage area

Zlewnia rok Drainage area year	Zaludnienie Population	Bydło Cattle	Trzoda chlewna Pigs	Owce Sheep	Konie Horses	Gruntly orne Arable lands	Łaki i pastwiska Meadows and pastures	Laszy Forests	Nieuzytki Waste lands	Zabudowa up Buildings up	Nawozy azotowe Nitrogenous fertilizers	Nawozy Fosforowe Phosphoric fertilizers	Nawozy Potasowe Potassic fertilizers	
Jednostka Unit	osób/km ² per- sons/km ²	sztuk/km ² heads/km ²	%						kg/km ² NPK					
San														
1974	3,9	1,8	0,6	0,6	0,3	2,1	16,0	79,8	2,0	0,1	83,1	14,1	105,4	
1976	4,0	2,0	1,5	2,9	0,4	3,5	15,1	79,8	1,5	0,1	112,5	122,7	104,8	
1977	4,4	2,6	2,3	4,6	0,6	0,3	12,2	79,8	1,5	0,2	249,5	217,4	143,0	
1978	5,6	4,2	2,8	8,5	0,9	6,5	12,7	79,0	1,5	0,3	212,2	194,7	155,0	
Solinka														
1974	6,8	4,1	1,6	2,8	0,5	2,4	7,9	78,0	11,5	0,2	73,6	83,5	66,4	
1976	6,8	4,2	1,8	3,5	0,5	4,0	8,0	78,0	9,8	0,2	127,5	130,0	99,1	
1977	7,2	4,3	2,2	4,3	0,6	5,2	8,0	78,0	8,6	0,2	203,7	188,3	190,5	
1978	7,5	6,5	2,2	7,9	0,8	7,3	10,4	78,5	3,5	0,3	208,5	226,5	237,4	
Czarny														
1974	16,2	12,2	5,9	3,2	1,8	9,2	21,1	64,1	5,1	0,5	315,3	326,7	460,3	
1976	17,0	12,2	6,0	5,4	2,2	10,2	19,0	64,0	6,3	0,5	282,8	475,0	466,7	
1977	18,2	12,5	6,3	6,1	4,3	12,5	19,1	64,0	3,9	0,5	347,0	325,5	382,7	
1978	18,8	13,9	7,0	12,0	4,0	16,7	22,6	56,9	3,2	0,6	431,1	388,5	412,7	
Wołkowyja														
1974	24,3	18,8	15,7	2,7	3,5	21,6	12,0	58,2	7,7	0,5	658,9	838,6	674,7	

1976	25,0	18,8	15,7	3,5	4,0	21,6	12,3	58,2	7,4	0,5	574,4	787,7	682,0
1977	26,0	18,9	15,5	10,5	4,7	21,8	12,5	58,2	6,9	0,6	704,4	837,9	695,8
1978	30,8	21,3	17,2	14,3	4,5	24,5	15,5	57,1	2,0	0,9	733,3	740,5	712,6
Daszówka													
1974	24,6	19,5	10,8	2,9	3,4	16,3	21,0	54,2	7,5	1,0	575,9	460,8	478,5
1976	28,2	19,2	14,5	3,3	4,4	17,7	18,4	54,2	8,7	1,0	612,6	543,7	550,5
1977	29,6	21,3	12,0	7,1	5,2	21,2	18,4	54,2	5,0	1,2	744,7	766,3	628,0
1978	31,4	22,2	16,8	13,0	5,0	21,5	18,6	54,5	4,2	1,2	714,7	752,5	700,6
Panisz- czówka													
1974	—	—	—	—	—	38,7	14,0	31,0	16,3	—	877,0	688,5	732,0
1976	—	—	—	—	—	38,5	14,0	31,0	16,5	—	953,0	882,7	641,5
1977	—	—	—	—	—	2,2	14,0	31,0	52,8	—	24,8	27,5	30,2
1978	—	—	—	—	—	2,8	14,0	31,0	52,2	—	40,8	33,7	29,6

Sanu (2,1 — 6,5%) i Solinki (2,4 — 7,3%). Obserwuje się jednak oprócz zlewni Paniszczówki tendencje wzrostowe.

Powierzchnie łąk i pastwisk w okresie badań nie ulegały większym zmianom i w 1978 r. wynosiły od 10,4% w zlewni Solinki do 22,6% w zlewni Czarnego. Nieużytki, do których zaliczano również zakrzaczenia, porośnięte przeważnie czarną olchą z wyjątkiem zlewni Paniszczówki malały i w 1978 r. nie zajmowały znaczniejszych powierzchni.

Tereny zabudowane stanowią nieznaczny procent powierzchni zlewni.

Zużycie nawozów sztucznych jest niskie, w zasadzie proporcjonalne do stopnia rolniczego wykorzystania terenu.

Gospodarcze wykorzystanie omawianych zlewni polega głównie na gospodarce leśnej, a w dalszej kolejności rolnej i hodowlanej. Wyróżnić można dwie grupy zlewni:

— zlewnie Sanu i Solinki o największych powierzchniach leśnych i najniższych wskaźnikach charakteryzujących pozostałe formy gospodarce,

— zlewnie Wołkowyjki, Daszówki i w mniejszym stopniu Czarnego, słabiej zalesione, lecz o wyższej gęstości zaludnienia i bardziej intensywnej gospodarce rolnej i hodowlanej.

Odrębne formy gospodarcze wykazuje najmniejsza zlewnia Paniszczówki. W ogóle niezamieszkała i pozbawiona stałej hodowli, o najmniejszym procencie powierzchni leśnych, w latach 1974—1976 posiadała największe powierzchnie gruntów ornych (13,5%) wykorzystywane przez gospodarstwa pozostające w gestii Ministerstwa Sprawiedliwości. W 1977 r. zaniechano działalności gospodarczej. Aktualnie zlewnia Paniszczówki jest prawie niewykorzystywana gospodarczo.

W okresie badań, z wyjątkiem zlewni Paniszczówki, zaobserwowano wyraźną progresję gospodarczą. Stwierdzić jednak należy, że poszczególne wskaźniki intensywności gospodarczej, z wyjątkiem zalesienia, kształtują się znacznie poniżej średnich krajowych i należą do najniższych w Polsce. Brak znaczącego przemysłu oraz stałych obiektów turystyczno-rekreacyjnych. W sezonie letnim pojawiają się okresowo turyści indywidualni.

W tym słabo zintensyfikowanym gospodarczo terenie występuje duża nierównomierność przestrzenna zagospodarowania. Zaludnienie, gospodarka rolna i hodowlana skupione są głównie w dolinach rzek, a górskie partie, zwłaszcza zlewni Sanu i Solinki, są bezludne i użytkowane jedynie przez gospodarkę leśną albo stanowią nie wykorzystywane gospodarczo połoniny.

IV. ANALIZA WYNIKÓW

Średnie kwartalne i roczne dobowe ładunki jednostkowe (tab. 3) wykazują duże zróżnicowanie czasowe oraz są różne w poszczególnych zlewniach. Średnie roczne ładunki azotu organicznego dla wszystkich zlewni wykazują maksima w 1978 r., tj. w roku najwyższych przepływów, a następnie wysokie wartości występują (oprócz Wołkowyjki) w 1974 r. Mniejsze wartości stwierdzono w latach 1976—1977, przy równoczesnym obniżeniu przepływów w Sanie, Solince i Czarnym. Zależność ładunków do przepływów widoczna jest jeszcze wyraźniej przy analizie średnich kwartalnych ładunków jednostkowych, dla których maksima i minima występują zawsze w rytmie wahań przepływów. Dla ładunków jednostkowych azotu azotanowego i amonowego korelacja z przepływami jest również wyraźna (oprócz Paniszczówki), ale amplitudy wahań ładunków są mniejsze (tab. 4). Założyć można wyraźny wpływ czynników hydrologicznych na wielkości ładunków substancji biogenych w zlewniach dopływów Zbiornika Solińskiego [4, 5].

W całym okresie badań najwyższe średnie roczne ładunki jednostkowe azotu organicznego występowały na zbliżonym poziomie w zlewniach Sanu lub Solinki (ryc. 3). Przyjmując średni dla całego okresu badań dobowy ładunek jednostkowy azotu organicznego stwierdzony w zlewni Solinki za 100%, ładunki dla pozostałych zlewni wynoszą: Sanu — 98,3%, Wołkowyjki — 69,1% Daszówki — 67,6%, Czarnego — 67,0%, Paniszczówki — 58,9%.

Ze względu na podobieństwo ładunków wyróżnić można 3 grupy zlewni:

- zlewnie Sanu i Solinki o dużych ładunkach,
- zlewnie Czarnego, Wołkowyjki i Daszówki o ładunkach pośrednich,
- zlewnia Paniszczówki o najmniejszym ładunku.

Takie uszeregowanie zlewni odpowiada wielkościom powierzchni zalesionych. Również analiza stosunków ładunków poszczególnych form azotu (tab. 4) wykazuje przewagę ładunków azotu organicznego w silnie zalesionych zlewniach Sanu i Solinki.

Ładunki azotu azotanowego kształtują się odmiennie i są na ogół niższe. Największy średni dobowy ładunek jednostkowy dla całego okresu badań — 2,066 kg/d. km² N stwierdzono w zlewni Wołkowyjki (100%), a następnie w zlewniach: Daszówki — 95,2%, Paniszczówki — 89,3%, Czarnego — 83,5%, Solinki — 62,9% i Sanu — 58,9%. Odwrotna kolejność zlewni w przypadku ładunków azotu organicznego wskazuje na istnienie odmiennych źródeł tych form azotu. Zlewnie wytwarzające wyższe ładunki azotu azotanowego są słabiej zalesione, ale intensywniej wykorzystywane rolniczo. Ciekawy przypadek stanowi zlewnia Paniszczówki. Posiadająca w latach 1974—1976 największe powierz-

Średnie kwartalne i roczne ładunki jednostkowe azotu organicznego azotanowego i
 Mean quarterly and annual elementary charges of organic nitrate and ammonium

Rok Year Kwartał Quarter	San			Solinka			Czarny		
	N_{org}	$N_{NO_3^-}$	$N_{NH_4^+}$	N_{org}	$N_{NO_3^-}$	$N_{NH_4^+}$	N_{org}	$N_{NO_3^-}$	$N_{NH_4^+}$
1974									
I kw.	1,152	0,422	0,045	2,444	0,675	0,095	2,321	1,005	0,120
II kw.	11,096	2,195	0,222	11,205	2,006	0,226	2,253	1,829	0,127
III kw.	4,079	0,947	0,085	2,553	1,062	0,087	3,302	2,460	0,203
IV kw.	2,101	1,100	0,060	3,210	1,105	0,180	2,018	1,798	0,090
śr. roczn. annual aver.	4,607	1,166	0,103	4,853	1,212	0,147	2,451	1,773	0,135
1976									
I kw.	0,320	0,351	0,037	0,295	0,303	0,105	3,836	1,647	0,230
II kw.	8,586	2,744	0,198	7,890	3,305	0,181	2,041	2,905	0,155
III kw.	0,251	0,304	0,035	0,088	0,127	0,066	0,169	0,650	0,064
IV kw.	1,399	0,809	0,070	1,760	0,788	0,120	0,927	0,822	0,111
śr. roczn. annual aver.	2,639	1,052	0,085	2,508	1,130	0,118	1,743	1,506	0,140
1977									
I kw.	5,396	3,074	0,168	9,387	2,409	0,219	3,812	2,738	0,183
II kw.	0,483	0,417	0,055	0,423	0,253	0,063	1,642	1,592	0,125
III kw.	3,843	1,014	0,093	0,340	0,274	0,089	0,743	0,807	0,082
IV kw.	0,567	0,473	0,072	1,272	2,045	0,117	1,487	1,317	0,138
śr. roczn. annual aver.	2,572	1,245	0,097	2,856	1,245	0,122	1,921	1,611	0,132
1978									
I kw.	0,100	0,233	0,048	0,233	0,317	0,055	0,946	0,611	0,112
II kw.	15,235	0,516	3,215	15,279	3,906	0,337	10,709	4,542	0,283
III kw.	4,336	0,990	0,112	4,178	1,505	0,140	2,058	1,914	0,142
IV kw.	1,310	0,877	0,105	0,753	0,716	0,088	2,937	0,993	0,135
śr. roczn. annual aver.	5,245	1,404	1,120	5,111	1,611	0,155	4,162	2,015	0,168
śr. z całego okresu badań average for whole period of studies	3,766	1,217	0,101	3,832	1,299	0,136	2,569	1,726	0,144

cznie gruntów ornych wytwarzała również najwyższe ładunki jednostkowe azotu azotanowego. W następnym okresie, po zaniechaniu działalności rolniczej, ładunki Paniszczówki maleją do najniższych wartości wśród analizowanych zlewni. Stosunkowo wysokie jeszcze ładunki w 1977 r. (zwłaszcza w I kwartale) interpretować można jako skutki wypłukiwania azotanów akumulowanych w latach poprzednich.

Współczynniki nieregularności średnich kwartalnych i rocznych ładunków azotu azotanowego są oprócz współczynników Paniszczówki na

Tabela 3 — Table 3

amonowego (kg/d · km²N)
nitrogen (kg/d · km²N)

Wołkowyjka			Daszówka			Paniszczówka		
N_{org}	$N_{NO_3^-}$	$N_{NH_4^+}$	N_{org}	$N_{NO_3^-}$	$N_{NH_4^+}$	N_{org}	$N_{NO_3^-}$	$N_{NH_4^+}$
1,360	0,426	1,220	1,774	1,425	0,093	0,881	0,387	0,075
1,661	1,119	0,259	1,198	0,822	0,212	1,464	1,554	0,101
3,313	3,611	0,197	5,901	3,698	0,241	4,408	4,522	0,216
1,630	2,126	0,152	1,235	1,275	0,162	1,387	2,260	0,120
1,991	1,821	1,182	2,527	1,805	0,177	2,035	2,176	0,128
0,473	0,422	0,133	2,661	2,037	0,252	3,105	3,215	0,178
6,694	4,815	0,247	4,326	4,165	0,281	2,002	3,007	0,092
0,098	0,276	0,076	0,159	0,812	0,085	0,245	0,976	0,044
1,994	1,835	0,172	0,457	0,850	0,190	1,976	2,410	0,110
2,315	1,837	0,157	1,901	1,966	0,202	1,832	2,402	0,106
5,974	5,203	0,361	6,346	5,215	0,364	4,230	3,857	0,158
0,846	0,740	0,080	0,791	0,817	0,150	1,829	1,913	0,105
0,189	0,311	0,137	0,489	0,420	0,106	0,279	0,165	0,048
2,397	2,406	0,206	1,117	1,100	0,220	1,274	0,957	0,097
2,353	2,165	0,195	2,199	1,888	0,210	1,903	1,723	0,102
0,802	1,214	0,120	2,192	1,703	0,144	0,571	0,715	0,028
9,769	5,358	0,453	6,559	2,312	0,459	8,244	2,246	0,172
4,649	2,620	0,195	5,631	4,047	0,187	1,465	0,727	0,068
0,520	0,572	0,100	0,571	0,770	0,130	2,740	0,612	0,032
3,935	2,441	0,217	3,738	2,208	0,230	3,255	1,075	0,075
2,648	2,066	0,188	2,591	1,967	0,205	2,256	1,844	0,103

ogół niższe od wartości dla azotu organicznego. Wskazuje to na istnienie w zlewniach źródeł, mniej zależnych od czynników meteorologicznych i hydrologicznych, wytwarzających znaczne ładunki azotu azotanowego nawet w okresach niezbyt wielkich spływów jednostkowych. Zakładając, że są to powierzchnie gruntów ornych, a związana jest z nimi intensywność nawożenia, zrozumiały staje się wysoki współczynnik nieregularności w zlewni Paniszczówki. W zlewni tej w latach 1974—1976 oraz w zlewni

Tabela 4 — Table 4

Współczynniki nieregularności **średnich** kwartalnych i rocznych ładunków
jednostkowych oraz stosunki $N_{\text{org}}:N_{\text{NO}_3^-}:N_{\text{NH}_4^+}$

Coefficients of irregularities of mean quarterly and anual elemetary charges and
relations $N_{\text{org}}:N_{\text{NO}_3^-}:N_{\text{NH}_4^+}$

Zlewnia Drainage area Rok Year	Azot organiczny Organic nitrogen	Azot azotanowy Nitrate nitrogen	Azot amonowy Ammonium nitrogen	$N_{\text{org}}:N_{\text{NO}_3^-}:N_{\text{NH}_4^+}$
San				
1974	9,63	5,20	4,93	44,73:11,32:1
1976	34,21	9,03	5,66	31,05:12,36:1
1977	11,03	7,37	3,05	26,52:12,84:1
1978	152,35	15,09	4,76	43,71:11,70:1
Ł _j średnie roczne annual average	2,04	1,33	1,41	37,29:12,05:1
Solinka				
1974	4,58	2,97	2,60	33,01: 8,24:1
1976	89,66	26,02	2,74	21,25: 9,58:1
1977	27,61	9,52	3,48	23,41:10,20:1
1978	65,58	12,32	6,13	32,97:10,39:1
Ł _j średnie roczne annual average	2,04	1,43	1,31	28,18: 9,55:1
Czarny				
1974	1,64	2,45	2,26	18,16:13,13:1
1976	22,70	4,47	3,59	12,45:10,76:1
1977	5,13	3,38	2,23	14,55:12,20:1
1978	11,32	7,43	2,53	24,77:11,99:1
Ł _j średnie roczne annual average	2,39	1,34	1,27	17,84:11,99:1
Wołkowyjka				
1974	2,44	8,48	2,16	10,94:10,01:1
1976	68,31	17,45	3,25	14,75:11,70:1
1977	31,59	16,73	4,51	12,06:11,10:1
1978	18,79	9,36	4,53	18,13:11,25:1
Ł _j średnie roczne annual average	1,98	1,34	1,38	14,09:10,99:1
Daszówka				
1974	4,93	4,50	2,59	14,28:10,20:1
1976	27,21	5,13	3,31	9,41: 9,73:1
1977	12,98	12,42	3,43	10,47: 8,99:1
1978	11,49	5,26	3,53	16,25: 9,60:1
Ł _j średnie roczne annual average	1,97	1,22	1,30	12,64: 9,60:1

Tabela 4 (cd.) — Tabele 4 (cont.)

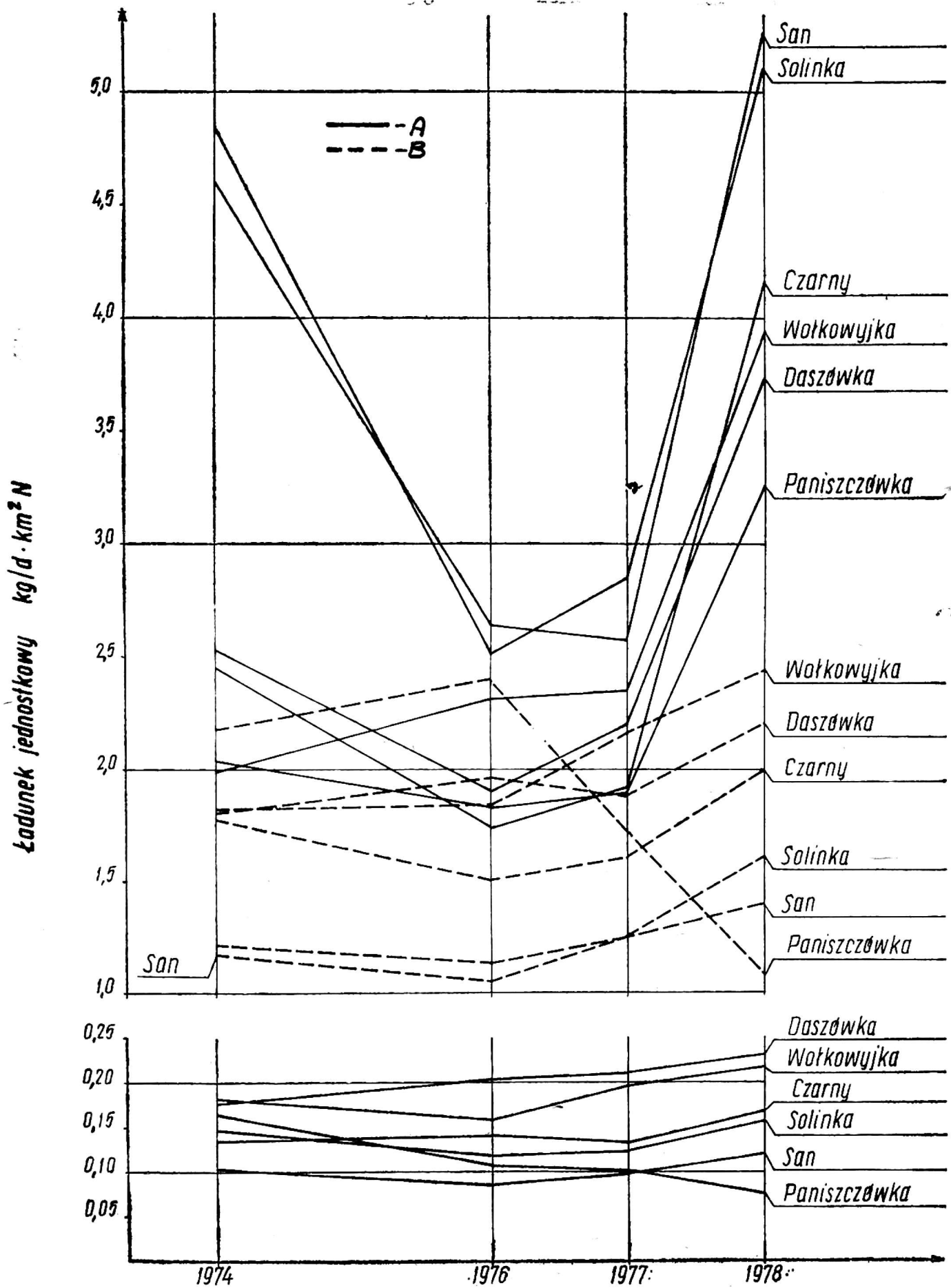
Zlewnia Drainage area Rok Year	Azot organiczny Organic nitrogen	Azot azotanowy Nitrate nitrogen	Azot amonowy Ammonium nitrogen	$N_{org}:N_{NO_3^-}:N_{NH_4^+}$
Paniszczówka				
1974	5,00	11,68	2,88	15,9 :17,00:1
1976	12,67	3,29	1,93	17,28:22,66:1
1977	15,16	23,38	3,29	18,66:16,89:1
1978	14,44	3,67	6,14	43,40:17,90:1
Ł _j średnie roczne annual average	1,78	2,23	1,71	21,90:17,90:1

Daszówki w 1976 r. ładunki azotu azotanowego przewyższały ładunki azotu organicznego.

Najniższe ładunki jednostkowe charakteryzują azot amonowy. Największy średni dla całego okresu badań ładunek — 0,205 kg/d · km²N wystąpił w zlewni Daszówki. Ładunki pozostałych zlewni stanowią w stosunku do ładunku Daszówki: dla Wołkowyjki — 71,7%, Czarne — 70,2%, Solinki — 66,3%, Paniszczówki — 50,2%, Sanu — 49,3%. W zlewni Paniszczówki pomimo wysokich przepływów stwierdzono obniżenie ładunku w 1978 r. Podobny układ w zlewni, jak w przypadku azotu azotanowego, sugeruje związek wielkości ładunków azotu amonowego z gospodarką rolną i hodowlaną. Równocześnie mniejsze współczynniki nieregularności średnich kwartalnych wskazują na dużą stabilność ładunków jednostkowych azotu amonowego.

Wyliczone współczynniki równań (tab. 5) wielokrotnie przybierały wartości ujemne. Zastosowana metoda matematyczna nie pozwala na jednoznaczную interpretację ładunków jednostkowych jako zależności $\bar{L}_j = f(A, B, C, D, E)$. Znaczny wpływ wywierają inne nie ujęte w równaniach czynniki: meteorologiczne, hydrologiczne, fizjograficzne czy też usytuowanie źródeł zanieczyszczeń w stosunku do punktów kontrolno-pomiarowych. Czynniki te w warunkach analizowanych zlewni nabierają szczególnego znaczenia i zwłaszcza wobec nieznacznej intensywności gospodarczej deformują oczekiwane zależności.

Należy uwzględnić również dużą nierównomierność przestrzenną zagospodarowania, występowanie skupisk gospodarczych i dużych obszarów nie wykorzystywanych. Opiswane w literaturze zależności dotyczą zlewni o znacznie większym stopniu gospodarczego wykorzystania. Można przyjąć, że wyraźne korelacje kształtują się dopiero powyżej pewnego poziomu intensywności gospodarczej. Odrzucając współczynniki ujemne oraz dodatnie przy $\alpha > 0,05$ (jako nieistotne) pozostałe posłużyć mogą do ogólnej charakterystyki wpływu poszczególnych form zagospodarowania na wielkość ładunków jednostkowych.



Ryc. 3. Zmiany średnich rocznych ładunków jednostkowych. A — azot organiczny, B — azot amonowy

Fig. 3. Changes in mean annual elementary charges. A — organic nitrogen, B — ammonium nitrogen

Tabela 5 — Table 5

Współczynniki równań x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 oraz poziomy istotności współczynników (a)
 Coefficients of equations x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 and levels of significance of coefficients (a)

x, a	Lata — Years														
	Azot organiczny Organic nitrogen					Azot azotanowy Nitrate nitrogen					Azot amonowy Ammonium nitrogen				
	1974	1976	1977	1978	1974	1976	1977	1978	1974	1976	1977	1978	1974	1976	1977
x_1	—	—	0,0031	—0,0073	0,0072	0,0121	0,0142	0,0167	0,0111	—0,0072	0,0205	0,0200			
a	—	—	0,10	—	0,10	—	0,05	0,02	0,05	—	0,05	0,02			
x_2	—0,1312	—0,0950	—0,0067	0,0053	0,1902	0,2751	0,1945	0,2514	0,0197	0,1075	0,0773	0,0137			
a	—	—	—	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,05	0,02			
x_3	0,0098	0,0107	—0,0015	0,0127	—0,0714	0,0097	0,0107	0,0013	—0,0550	—0,1002	0,0720	0,0642			
a	0,05	0,05	—	0,05	—	0,10	0,05	—	—	—	0,05	0,05			
x_4	0,2632	0,2074	0,1879	0,2209	—0,1450	—0,0920	—0,1170	0,1527	—0,1221	—0,2077	—0,3042	—0,0982			
a	0,01	0,01	0,02	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—			
x_5	—0,0807	—0,1003	0,0140	0,0062	0,0475	0,0942	0,0765	0,1008	0,0229	0,0327	0,0702	0,0557			
a	—	—	0,10	0,10	0,05	0,02	0,02	0,05	0,05	0,10	0,05	0,02			

Dla azotu organicznego wysoki poziom istotności ($\alpha=0,01-0,02$) wykazuje współczynnik x_4 , charakteryzujący wpływ powierzchni zalesionych. Ta forma użytkowania terenu w świetle przeprowadzonej analizy nabiera dominującego znaczenia przy kształtowaniu wielkości ładunków azotu organicznego. Niewielki wpływ przypisać można również powierzchniom łąk i pastwisk (współczynnik x_3 , $\alpha=0,05$). Pozostałe współczynniki przyjmują wartości ujemne lub są nieistotne.

Odmienne zależności ujawniono dla azotu azotanowego. Dla wszystkich lat okresu badań istotnym źródłem ładunków okazały się powierzchnie gruntów ornych (x_2 , $\alpha=0,01$), a w dalszej kolejności intensywność nawożenia (x_5 , $\alpha=0,02-0,05$). Tendencje oddziaływania w latach 1977—1978 wykazuje intensywność hodowli. Nieistotną formą okazała się gospodarka leśna.

Dla ładunków azotu amonowego stwierdzono zbliżony układ współczynników, ale poszczególne zależności nie są tak silne jak dla azotu azotanowego. Największy wpływ wywierają powierzchnie gruntów ornych (x_2 , $\alpha=0,01-0,05$), nawożenie azotowe (x_5 , $\alpha=0,02-0,05$) i hodowla. W latach 1977—1978 ujawnia się wpływ powierzchni łąk i pastwisk (x_3 , $\alpha=0,05$).

Nie wykryto wpływu powierzchni zalesionych.

Z powyższych rozważań wynika dominujące znaczenie gospodarki rolnej jako źródła biogennej formy azotu, determinujących postęp eutrofizacji Zbiornika Solińskiego. W warunkach omawianych zlewni dalsza intensyfikacja gospodarcza wymaga uwzględnienia postulatu zabezpieczenia czystości wód powierzchniowych.

V. WNIOSKI

Przeprowadzona analiza porównawcza wielkości ładunków jednostkowych związków azotu z intensywnością gospodarczą analizowanych zlewni pozwala na sprecyzowanie następujących wniosków:

1. Ładunki poszczególnych form azotu związane są w zróżnicowany sposób z różnymi formami gospodarki, a ich wielkości zależą również w znacznym stopniu od czynników hydrologicznych i fizjograficznych.
2. Głównym źródłem ładunków azotu organicznego są tereny zalesione, a w dalszej kolejności łąki i pastwiska. Nie stwierdzono wyraźnego wpływu gospodarki rolnej i hodowlanej.
3. Ładunki azotu azotanowego wytwarzane są głównie w terenach wykorzystywanych rolniczo i wykazują silną korelację ($\alpha=0,01$) z powierzchniami gruntów ornych i intensywnością nawożenia azotowego. Powierzchnie zalesione nie wywierają znaczącego wpływu.
4. Źródła ładunków azotu amonowego są bardziej zróżnicowane. Naj-

istotniejsze to powierzchnie gruntów ornych, a następnie gospodarka hodowlana, ale w latach 1977—1978 również powierzchnie łąk i pastwisk.

5. Znikoma intensywność gospodarcza omawianych zlewni nie pozwala na ukształtowanie jednoznacznych, silnych zależności. Można jednak wyróżnić silnie zalesione zlewnie Sanu i Solinki jako główne źródła ładunków azotu organicznego i zlewnie pozostałe o dużych ładunkach jednostkowych azotu azotanowego i amonowego.

6. Znaczny wpływ wywierają warunki meteorologiczne i hydrologiczne podwyższające w okresach dużych przepływów ładunki zwłaszcza azotu organicznego.

Akademia Rolnicza w Krakowie
Politechnika Rzeszowska

LITERATURA

- [1] Imhoff K., *Taschenbuch der Stadtendwasserigung*, Oldenburg, Monachium, Wiedeń 1972.
- [2] Operat Techniczny do uprawnień wodnych dla Zespołu Elektrowni Wodnych Solina-Myczkowce, Biuro Projektów Energetycznych „Energoprojekt”, Warszawa 1961.
- [3] Pasternak K., *Litologiczno-glebowy charakter zlewni a właściwości wody rzek Sanu i Wisłoka*. Materiały na Konferencję Naukową: Środowisko Przyrodnicze Dorzecza Sanu, Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Przemyśl 1973, s. 47—49.
- [4] Płużański A., *Wpływ niektórych czynników hydrologicznych i fizjograficznych na ładunki wskaźników zanieczyszczeń w dopływach zbiornika Solińskiego*, „Rozpr. Polít. Rzeszowskiej”, 1978, s. 18—20.
- [5] Polak S., Płużański A., *Wyniki badań wpływu użytkowania zlewni górskich na ładunki fosforu w wodach powierzchniowych*. PAN Oddział w Krakowie, Komisja Budownictwa i Gospodarki Wodnej w Rolnictwie, Zakład Narodowy im. Ossolińskich 1979, s. 86—89.
- [6] Rumszyński K., *Matematyczne opracowanie wyników eksperymentu*. WNT, Warszawa 1973.
- [7] Sprenger F., *Untersuchungen über die Phosphor und Stickstoffbelastung der Zufflusse eines Sees*, „Vom Wasser”, H. 35, 1972.
- [8] Starmach K., Wróbel S., Pasternak K., *Hydrobiologia*. PWN, Warszawa 1976.
- [9] Szczegółowy podział dorzecza Sanu, Ministerstwo Robót Publicznych. Państwowa Służba Hydrograficzna, Warszawa 1931.
- [10] Szlauer L., *Metody oraz efektywność doczyszczania i utylizacji ścieków w środowisku wodnym*. NOT A.R.I.K.S., Seminarium Naukowo-Techniczne, Szczecin 1977.
- [11] Vollenweider R., *Les bases scientifiques etrophisation des lacs et des eaux courantes scus aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation*, La technique de leau, 1971.

Stanisław Polak, Andrzej Płużański

METHOD OF THE DRAINAGE AREA UTILIZATION AS A FACTOR
INFLUENCING MAGNITUDES OF CHARGES OF NITROGEN COMPOUNDS
IN SUPERFICIAL WATERS

Summary

Studies were carried out in the drainage areas of the affluents of the Solina Reservoir, the following rivers: San, Solinka, Czarny, Wołkowyjka, Daszówka, and Paniszczówka, in the years 1974—1978. The effect of afforested areas on elementary charges of organic nitrogen and that of the fertilization intensity of arable land on charges of nitrate and ammonium nitrogen has been shown using the mathematical analysis.

As regards poor economic intensity of the drainage areas studied, the dependences above-mentioned were deformed by the influence of physiographical, meteorological, and specially hydrological factors. High flows in rivers increase elementary charges, specially those of organic nitrogen.

University of Agriculture in Kraków
Politechnic Institute in Rzeszów

Станислав Поляк, Анджей Плужански

СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА,
ФАКТОРОМ ВЕЛИЧИНЫ ЗАРЯДОВ АЗОТА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

Резюме

Исследования проведено в 1974—1978 гг. в бассейнах притоков Солинского водохранилища рек: Сана, Солинки, Чарного, Волковьйки, Дашувки и Панишувки. При помощи математического анализа констатировано влияние облесенных поверхностей на единичные заряды органического азота и пахотных земель, а также интенсивности внесения удобрений на заряды нитратного и аммонийного азота.

В связи с небольшой хозяйственной интенсивностью анализированных бассейнов упомянутые выше зависимости деформируются влиянием физиографических, метеорологических и особенно гидрологических факторов. Высокие течения в реках увеличивают единичные заряды, особенно органического азота.

Сельскохозяйственная академия в Кракове
Политехнический институт в Жешуве