

Modest MISZTAL, Halina SMAL

**Ocena dopływu podziemnego wybranych pierwiastków do dwóch jezior  
o różnym charakterze troficznym w przeciągu jednego roku \***

Оценка подземного притока избранных химических элементов к двум озерам  
с разными трофическими свойствами на протяжении одного года

Evaluation of Yearly Ground Inflow of Some Elements to Two Lakes with Dif-  
ferent Trophic Characteristics

WSTĘP

Niekorzystne rezultaty eutrofizacji jezior są znane, podobnie jak główne mechanizmy i przyczyny tego zjawiska. Mniej informacji przynosi natomiast piśmiennictwo naukowe na temat ilościowej strony tego procesu, w tym również dopływu substancji allochtonicznych ze zlewni (K a j a k 1979, Gliwicz i inni 1980). Dostyc skromne informacje na ten temat spowodowane są różnorodnością i ilością źródeł substancji, które docierają do wód jeziornych ze zlewni (spływ powierzchniowy, podziemny, nawiewanie przez wiatr), a w określonych sytuacjach również spoza jej obszaru. Ponadto pojawiają się trudności techniczne w dokonywaniu pomiarów. Dotyczy to szczególnie przypadku tak zwanego dopływu lub zasilania obszarowego.

Te stwierdzenia stały się podstawą do rozpoczęcia badań, których rezultatem ma być ocena dopływu podziemnego podstawowych pierwiastków odżywczych do jezior. Szczególnie interesujące wydawało się porównanie dopływu do jezior o silnie zróżnicowanym charakterze troficznym. Dodać należy, że w jeziorach tych spływ podziemny jest najprawdopodobniej głównym źródłem dopływu pierwiastków. Wynika to z równinnego charakteru zlewni oraz przepuszczalności jej gleb, co praktycznie eliminuje możliwość spływu powierzchniowego (szczególnie dotyczy to jeziora Piaseczno).

\* Badania finansowane z tematu MR II/17.

## TEREN I METODY

Badano dwa jeziora Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego: Piaseczno i Głębokie. Jezioro Piaseczno ma powierzchnię zlewni 325,2 ha, w tym 84,7 ha zwierciadło jeziora. Jego charakter troficzny określa się jako a-mezotrofię (Wojciechowski 1976). Jest to jezioro o najmniej zaawansowanym procesie eutrofizacji na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim. Jezioro Głębokie jest małe. Powierzchnia zlewni zajmuje 87,6 ha, w tym zwierciadło jeziora 12,6 ha. Określa się to jezioro jako eutroficzne.

Zlewnia jeziora Piaseczno jest mało żyzna. Znaczną jej część zajmują lasy i torfowiska. Rolnictwo jest prymitywne (z powodu bardzo słabych gleb) i zajmuje ok. 30% powierzchni zlewni. Nie można lekceważyć jednak tego obszaru jako źródła zasilania jeziora w biogeny (Smal, Misztal 1982). Zlewnia jeziora Głębokie jest aktualnie

Tab. 1. Okresy spływu podziemnego wód ze zlewni do jezior Piaseczno i Głębokie i ich wielkość (w m<sup>3</sup>) w roku hydrologicznym 1982 \*

Periods of ground water runoff from catchments into Piaseczno and Głębokie lakes, with the runoff volumes (in m<sup>3</sup>) in a hydrologic year of 1982

Miesiąc	Piaseczno	Głębokie
XI 81	—	—
XII 81	7452	476
I 82	45556	—
II 82	21413	631
III 82	35150	5238
IV 82	30830	3330
V 82	43790	6523
VI 82	5193	—
VII 82	—	—
VIII 82	—	—
IX 82	—	1967
X 82	—	—
Suma roczna	189394	18154
Powierzchnia jeziora (ha)	84,7	12,6
Pojemność jeziora (tys. m <sup>3</sup> **)	10674	287
Powierzchnia części lądowej zlewni (ha)	241	75
Roczny spływ na 1 ha powierzchni jeziora (m <sup>3</sup> )	2236	1440
Roczny spływ z 1 ha zlewni (m <sup>3</sup> )	786	242

\* Dane otrzymano od dr. K. Wojciechowskiego z Zakładu Hydrografii UMCS Lublin.

\*\* Według Wilgata, 1953.

znacznie bardziej żyzna. Występujące tu w przewodze gleby z klasy po-bagiennych, typu czarnych ziem, spowodowały, że cała zlewnia wyko-rzystana jest rolniczo. W zlewniach obu jezior zainstalowano studzienki służące do pomiarów poziomu i poboru prób wody (w zlewni jeziora Piaseczno 11, a w zlewni jeziora Głębokie 5). Nad jeziorem Piaseczno studzienki tworzyły 4 ciągi, a nad jeziorem Głębokie 2 ciągi od brzegu w głąb zlewni i prostopadle do linii brzegowej. W poszczególnych cią-gach, zlokalizowanych w sektorach zlewni różniących się sposobem wy-korzystania (rolnictwo, las, łąki), studzienki były instalowane w zwię-kszącej się odległości od linii brzegowej (1—150 m).

Przez okres jednego roku hydrologicznego — 1982 (od 1 XI 81 do 31 X 82 r.) ze studzienek pobierano próby wód w odstępach jednego miesiąca. W próbach tych oznaczano: azot całkowity (suma azotu ogólnego Kjeldahla i azotanowego), fosfor ogólny, potas, wapń, sód i magnez. Współpracujący zespół hydrografów dostarczył danych dotyczących okresów spływu podziemnego wód wraz z oceną jego wielkości (tab. 1). Obliczenie elementów bilansu wodnego wykonano na podstawie uproszczonego wzoru bilansu:  $H = D - H + P - E$  oznaczając: H — różnica stanów wód jeziornych, P — opad, E — parowanie, D — dopływ wód do jeziora, H — odpływ wód z jeziora. Zestawień elementów bilanso-wych dokonywano dla okresów miesięcznych (tab. 2).

Tab. 2. Dopływ podziemny wybranych pierwiastków do jeziora Piaseczno w 1982 r., obciążenie jeziora, współczynniki korelacji między wielkością spływu wód i ładun-kiem biogenów

Ground water inflow of some elements into the Piaseczno Lake in 1982, lake water load, correlation coefficients of the inflowing water volume and the biogene charge

Miesiąc	Pierwiastek	N	P	K	Ca	Na	Mg
		KG					
XII		38,53	0,64	32,51	217,1	49,00	43,32
I		222,94	4,12	222,24	1191,71	256,89	262,31
II		89,39	2,26	88,40	457,65	80,42	117,54
III		130,40	2,11	157,85	843,52	144,88	211,78
IV		175,81	1,59	171,79	589,70	180,06	191,75
V		253,74	3,75	301,45	578,01	273,91	229,74
VI		21,09	0,64	20,42	55,81	19,26	25,24
Suma roczna		930,90	15,11	994,66	4113,50	1004,42	1031,68
Dostawa z 1 ha zlewni kg/rok		3,86	0,06	4,12	17,05	4,16	4,48
Obciążenie jeziora w g/m <sup>2</sup> /rok		0,087	0,002	0,09	0,39	0,09	0,10
Współczynnik korelacji *		0,96	0,91	0,95	0,94	0,96	0,99

\* Wartość graniczna współczynnika korelacji przy 0,01  $r = 0,87$ .

Ilość dopływających drogą podziemną do jezior pierwiastków oceniano dla każdego sektora osobno. Uśredniano wartości stężenia poszczególnych pierwiastków w próbkach wód pobranych w określonym terminie ze wszystkich studzienek znajdujących się w sektorze. Następnie mnożono otrzymaną wartość przez objętość spływającej z sektora drogą podziemną wody, a także sumowano zasilanie z sektorów w każdej zlewni (tab. 2 i 3).

Tab. 3. Dopływ podziemny wybranych pierwiastków do jeziora Głębokie w 1982 r., obciążenie jeziora, współczynniki korelacji między wielkością spływu wód i ładunkiem biogenów

Ground water inflow of some elements into the Głębokie Lake in 1982, lake water load, correlation coefficients of the inflowing water and the biogene charge

Miesiąc	Pierwiastek	N	P	K	Ca	Na	Mg
	KG						
XII		1,69	0,11	2,80	69,05	4,47	3,35
II		1,96	0,16	3,23	94,54	6,18	4,48
III		21,09	0,74	26,08	755,44	40,59	39,64
IV		10,93	0,55	24,16	426,83	42,18	26,04
V		24,32	1,34	48,44	765,96	85,14	45,91
IX		5,83	1,53	15,72	218,50	17,76	12,63
Suma roczna		65,72	4,43	120,43	2333,32	196,32	132,05
Dostawa z 1 ha zlewni kg/rok		0,88	0,06	1,60	31,11	2,61	1,76
Obciążenie jeziora w g/m <sup>3</sup> /rok		0,229	0,015	0,42	8,13	0,68	0,46
Współczynnik korelacji *		0,99	0,57	0,96	0,99	0,94	0,99

\* Wartość graniczna współczynnika korelacji przy 0,01  $r = 0,92$ .

#### WYNIKI I Dyskusja

Badane jeziora różniły się charakterem troficznym i wielkością zlewni, zwierciadła wody i pojemnością (tab. 1). W przypadku jeziora Piaseczno stosunek powierzchni zlewni do powierzchni zwierciadła wody wynosił 2,8, dla jeziora Głębokie 5,9. Można by wnioskować, że na jeden hektar powierzchni jeziora Piaseczno powinno spływać mniej wody niż w przypadku jeziora Głębokie. Jednak wyniki takich obliczeń (tab. 1) wskazują, że sytuacja taka nie wystąpiła. Na jeden hektar powierzchni jeziora Piaseczno spłynęło w omawianym roku 2236 m<sup>3</sup> wody, natomiast

w jeziorze Głębokie odpowiednia wartość wyniosła tylko 1440 m<sup>3</sup>. Podobnie, roczny spływ podziemny z 1 ha zlewni był większy nad jeziorem Piaseczno. Wskazuje to na znaczne zróżnicowanie czynników decydujących o wielkości spływu podziemnego wód. Główny w tym przypadku jest czynnik zdolności zatrzymywania i retencji wody przez gleby. W zlewni jeziora Piaseczno, gdzie w głównej mierze zalegają gleby piaszczyste, retencja wody jest bardzo mała, natomiast w zlewni jeziora Głębokie zaleganej przez czarne ziemie — bardzo duża.

Główne ilości wody spływały do obu jezior w okresie zimy i wiosny. Spływ do jeziora Piaseczno trwał nieprzerwanie od grudnia do czerwca, w zlewni jeziora Głębokie był natomiast rozczłonkowany. Wynikało to zapewne z zupełnie innych warunków retencji w omawianych zlewniach. Maksymalne spływy zaobserwowano w zlewni jeziora Piaseczno w styczniu i maju, natomiast w zlewni jeziora Głębokie w maju.

Dopływ podziemny pierwiastków do obu jezior był ściśle związany z wielkością spływu gruntowego wód ze zlewni (podobnie jak w badaniach Kaszy 1977, Solarzkiego i innych 1980, Witkowskiego 1970). W przypadku jeziora Piaseczno największe zasilanie wszystkimi oznaczanymi pierwiastkami miało miejsce w styczniu i maju, dla jeziora Głębokie w marcu i w maju. Odbiegają od tego wyniki otrzymane dla fosforu zasilającego jezioro Głębokie.

W celu stwierdzenia, czy zaobserwowane prawidłowości są potwierdzane statystycznie, obliczono współczynniki korelacji pomiędzy ilością spływających pod ziemią ze zlewni wód i ilością przynoszonych przez nie pierwiastków. Wyniki wskazują na najściślejszą zależność w przypadku jeziora Piaseczno dla magnezu, w mniejszym zaś stopniu dla azotu i sodu i najmniejszą dla fosforu, lecz współczynnik korelacji osiągnął poziom istotności. W przypadku jeziora Głębokie zależności te były najściślejsze w przypadku azotu, wapnia i magnezu, natomiast wielkość spływu fosforu nie była statystycznie zależna od wielkości spływu wód.

Ogólnie (pomijając fosfor) wyższe współczynniki korelacji pomiędzy wielkością spływu wód i dopływem pierwiastków zanotowano w zlewni jeziora Głębokie. Należy to tłumaczyć wolniejszym przepływem wód przez gleby o dużej zdolności retencji, co daje możliwość pełniejszego ustalania się równowagi pomiędzy roztworami i kompleksami sorpcyjnymi gleb. Takich warunków nie ma w większości obszaru zlewni jeziora Piaseczno, gdzie zalegają w głównej mierze gleby wytworzone z luźnych piasków o bardzo słabych zdolnościach retencji wody i równocześnie znikomymi właściwościami sorpcyjnymi. Dopływ podziemny pierwiastków do jeziora związany jest w tym przypadku nie ze stałym uwalnianiem ich z gleb, lecz z aktualną ich zawartością, która jest

w pierwszym rzędzie zależna od dostaw z zewnątrz (mogą one być celowe, np. nawożenie, lub przypadkowe np. zanieczyszczanie terenów rekreacyjnych).

Najniższe współczynniki korelacji stwierdzone w przypadku fosforu w obydwu zlewniach są odbiciem silnego wiązania tego pierwiastka przez gleby w różnego typu reakcjach chemicznych. Reakcje te zależą w głównej mierze od pH oraz zawartości wapnia, żelaza i glinu (Chaiwanakupt i Robertson 1976). Rozpuszczalność tych związków jest uzależniona od bardzo wielu czynników, stąd korelacja z ilością wody infiltrującej przez gleby jest niewielka.

Roczny dopływ pierwiastków z 1 hektara zlewni jest odbiciem potencjalnej możliwości wzbogacania, a więc eutrofizacji jeziora przez otaczające je tereny. W przypadku badanych zlewni stwierdzono, że większy niekorzystny wpływ mogą mieć tereny zlewni jeziora Piaseczno. Rezultat ten jest zaskakujący z powodu znacznie większej ogólnej żyzności zlewni jeziora Głębokie. Wytlumaczenia tego zjawiska należy szukać w dwóch faktach. Pierwszy to znacznie większy spływ wody z 1 hektara zlewni jeziora Piaseczno, co w powiązaniu ze ścisłą korelacją pomiędzy objętością dopływającej wody z ilości dostarczanych pierwiastków wyjaśnia obserwowane zjawisko. Drugi to wspomniana wcześniej ogólnie większa zdolność sorpcyjna gleb w zlewni jeziora Głębokie, co utrudnia wymywanie składników glebowych i przenikanie ich do wód.

Obliczony wskaźnik obciążenia jednego metra sześciennego wody w przeciągu roku przez dopływające pierwiastki może być wyrazem użyźniającego działania zlewni na jezioro (Watson i in. 1981). Zestawione dla badanych jezior wskaźniki (tab. 2 i 3) wskazują na znacznie większe obciążenie jeziora Głębokie. Szczególnie istotne z punktu widzenia procesów eutrofizacji pierwiastki azot i fosfor obciążają wody jeziora Głębokie odpowiednio 2,6 i 7,5 razy bardziej niż wody jeziora Piaseczno. Rezultaty tego niekorzystnego działania uwidoczniają się w opisanym wcześniej charakterze limnicznym tego jeziora. Wstępne rezultaty badań wskazują również na fakt, że nie zawsze potencjalne możliwości eutrofizujące zlewni realizują się w praktyce, decydującym czynnikiem może okazać się stosunek wielkości zlewni do objętości wód w jeziorze.

#### LITERATURA

- Chaiwanakupt P., Robertson W. K. 1976, Leaching of phosphate and selected cations from sandy soils as affected by lime. *Ogron. J.*, 516, 507—511.
- Kajak Z. 1979, Eutrofizacja jezior. Warszawa, PWN.
- Kasza H. 1977, Inflow of nitrogen and phosphorus to the dam reservoir at Goćzałkowice in the years 1973—1975. *Acta Hydrobiol.*, 1, 23—42.

- Gliwicz Z. M., Kowalczewski A., Ozimek T., Pieczyńska E., Prejs A., Prejs K., Rybak J. I. 1980, Ocena stopnia eutrofizacji Wielkich Jezior Mazurskich. Warszawa, Wydawnictwa Akcydensowe.
- Smal H., Misztal M. 1982, A preliminary estimate of nutrient run-off into two lakes in the Łęczyńsko-Włodawskie Lake District throughout a year. *Acta Hydrobiol.* 3, 187—196.
- Solarski H., Solarska J., Mirowski Z. 1980, Migracja składników nawozowych w zlewni rolniczej na Pojezierzu Mazurskim (sum. Migration of fertilizer elements in an agricultural catchment area in the Masurian Lake District). *Roczn. Gleb.*, 3/4, 263—270.
- Watson V. J., Loucks O. L., Wojner W. 1981, The impact of urbanization of seasonal hydrologic and nutrient budgets of a small North American watershed. *Hydrobiologia* 1, 87—96.
- Wilgat T. 1953, Jeziora Łęczyńsko-Włodawskie (sum. Lakes between Łęczna and Włodawa). *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Lublin, Sectio B*, 3, 38—118.
- Witkowski D. 1970, Dynamika zawartości ważniejszych składników nawozowych w odpływach Sony i Przylepnicy (sum. Dynamics of content of main fertilizing elements in outflows of Sona and Przylepnica rivers). *Roczn. Nauk Roln. Ser. F*, 3, 469—482.
- Wojciechowski I. 1976, Influence of the drainage basin on the eutrophication of the Amesotrophic Lake Piaseczno and diseutrophication of the pond Lake Bikcze. *Acta Hydrobiol.*, 1, 23—52.

## РЕЗЮМЕ

Предварительно исследовался (в течение одного гидрологического года) подземный приток основных элементов (N, P, K, Ca, Na, Mg) в двух озерах Ленчи́нско-Влодавского Поозерья. Выбрано озера с разными трофическими чертами: мезотрофное озеро Пясечно и эвтрофное озеро Глембоке. В месячные промежутки времени брались пробы подземных вод из колодцов, размещенных в разных по использованию секторах бассейнов обоих озер. Затем, имея объем притока вод из секторов, подсчитано величину притока элементов из бассейнов в озеро. Констатировано больший валовой приток исследованных элементов в озеро Пясечно. Однако нагрузка 1 м<sup>3</sup> воды была больше в случае озера Глембоке.

## SUMMARY

Preliminary investigations during a single hydrologic year were done for principal elements (N, P, K, Ca, Na, Mg) of a ground inflow to lakes of the Łęczyńsko-Włodawskie Lakeland. The lakes with varying trophic characteristics were chosen: the mesotrophic Piaseczno Lake and the eutrophic Głębokie Lake. Every month the samples of ground waters were collected from wells located in differently used sectors of the catchments of both lakes. Afterwards, knowing the volume of the inflowing waters, the influx of elements from the catchment into the lakes was calculated. A larger total inflow of considered elements was noted in the case of the Piaseczno Lake. On the other hand, the Głębokie Lake had a larger content of elements per 1 m<sup>3</sup>.

