

W.A. Godlewska-Lipowa
M. Paciorkiewicz

AKTYWNOŚĆ HETEROTROFICZNA MIKROFLORY BAKTERYJNEJ
JAKO WSKAŹNIK STOPNIA ZANIECZYSZCZENIA WÓD ŚRÓDLĄDOWYCH

Streszczenie. Obiektem badań były Jeziora Mazurskie w różnym stopniu zeutrofizowane oraz wody rzeki Narwi, na odcinku od Ostrołęki do Zalewu Zegrzyńskiego, zanieczyszczone ściekami miejskimi i przemysłowymi. Stwierdzono zależność pomiędzy liczebnością bakterii wielkością biomasy bakteryjnej oraz wielkością współczynnika aktywności heterotroficznej mikroflory bakteryjnej. Wartość współczynnika - wyliczonego dla glukozy jako substratu energetycznego, w miejscach zanieczyszczonych ściekami - była wysoka, natomiast w wodach niezanieczyszczonych - niska. Równoległe ze zmianami wielkości współczynnika, zmieniała się liczebność bakterii w wodzie.

W wodach rzeki Narwi analizowano liczebność bakterii celulolitycznych, ze szczególnym uwzględnieniem celulolitycznych bakterii z rodzaju Myxobacteriales. Stwierdzono, że w wodzie zanieczyszczonej ściekami z celulozowni, liczba bakterii celulolitycznych była wysoka, lecz udział w nich bakterii Myxobacteriales - bardzo mały. Myxobacteriales w dużych ilościach występowały w wodach niezanieczyszczonych.

W ostatnich latach, w związku z rozwojem przemysłu i urbanizacji, obserwujemy wzrost zanieczyszczeń wód śródlądowych ściekami przemysłowymi i komunalnymi. W celu zapobiegania dewastacji ekosystemów, konieczne było podjęcie szerokich badań ogólnobiologicznych zmierzających do poznania tempa narastania zanieczyszczeń, jak również opracowanie szybkich metod diagnostycznych pozwalających na ocenę stopnia zanieczyszczeń wód.

W zbiornikach wodnych różnych typów troficznych dominują bakterie heterotroficzne. Reagują one szybko i niejednokrotnie bardzo specyficznie na zmianę warunków fizyko-chemicznych i z tego względu na podstawie analizy mikrobiologicznej możliwe jest nie tylko oznaczenie stopnia eutrofizacji, lecz również i stopnia zanieczyszczeń wód śródlądowych.

Dla charakterystyki mikrobiologicznej ekosystemów wodnych, liczebność bakterii jest jedynie wskaźnikiem statycznym, o dynamice podstawowych, a jednocześnie najbardziej istotnych dla funkcjonowania ekosystemów, procesów mikrobiologicznych. O tempie przemian materii organicznej i jej destrukcji decyduje aktywność heterotroficzna mikroflory bakteryjnej.

Materiał i metody

Obiektem naszych badań były Jeziora Mazurskie o różnej trofii [3] oraz wody rzeki Narwi na odcinku 120 km od Ostrołęki aż do Zalewu Zegrzyńskiego. Starano się wyjaśnić, czy istnieje zależność pomiędzy stopniem zanie-

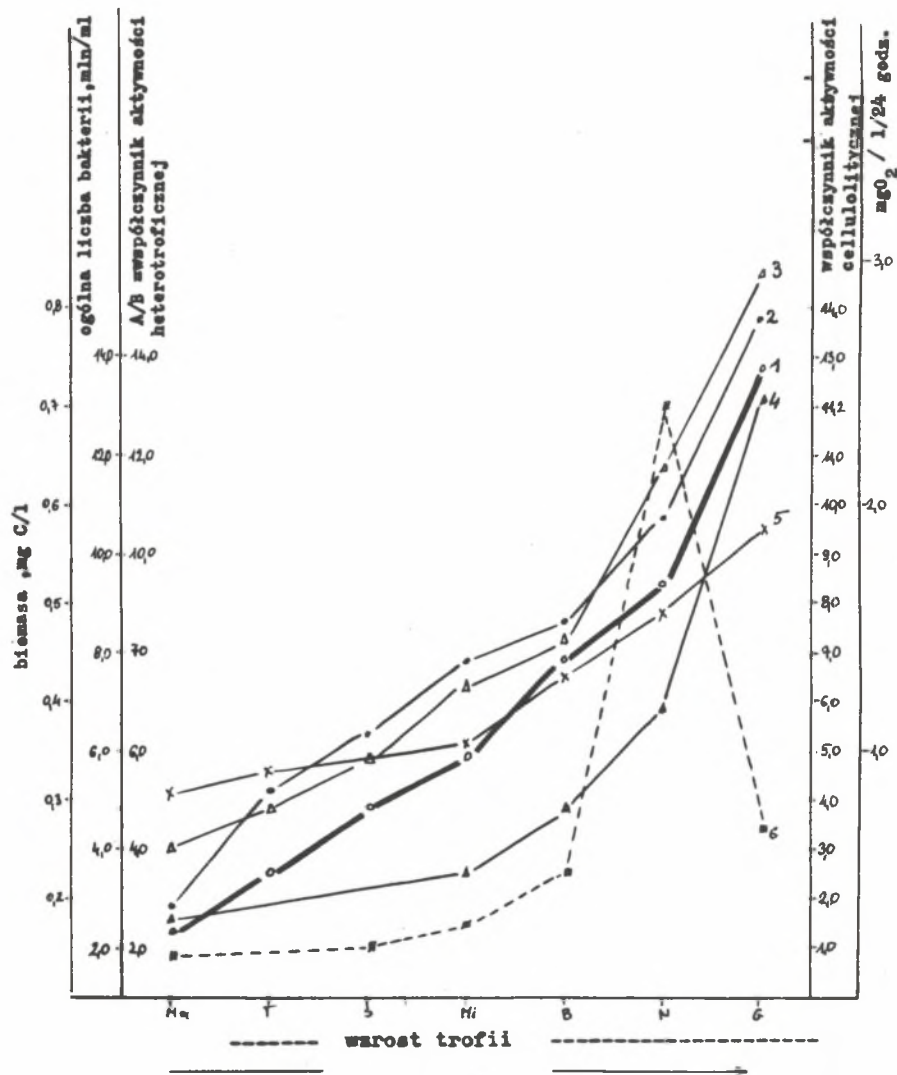
oczyszczenia wód śródlądowych, a aktywnością heterotroficzną mikroflory bakteryjnej. W celu scharakteryzowania badanych jezior pod względem troficznym i mikrobiologicznym oznaczano w nich ogólną liczbę bakterii metodą bezpośredniego liczenia na filtrach membranowych Coli 5 Sartorius [9] oraz długość czasu generacji wielogatunkowych populacji bakterii występujących w naturalnej wodzie jeziornej [1,2] jak również aktywność heterotroficzną mikroflory bakteryjnej [5,6]. W badaniach zastosowano metodę opracowaną w pracowni hydromikrobiologii Instytutu Ekologii PAN, opartą na oznaczeniu ilości wykorzystanego tlenu przez bakterie w obecności odpowiednio dobranych substratów organicznych [4]. Substratami stosowanymi były glukoza, laktoza, sacharoza, salicyna, cellobioza, celuloza, asparagina i baktepepton, dodawane do wody jeziornej, pozbawionej zoo- i fitoplanktonu w ilości 10 mg/l wody. Zawartość tlenu po odpowiednio dobranych czasach ekspozycji oznaczano metodą Winklera, obliczając ilości wykorzystanego tlenu w stosunku do próby wyjściowej. Na podstawie ilości wykorzystanego tlenu w próbach wody z dodatkiem substratu i w próbach kontrolnych bez substratu obliczano współczynnik aktywności heterotroficznej mikroflory bakteryjnej przyjmując, że równa się on A/B , gdzie A jest to ilość mg O_2/l wykorzystana przez bakterie w obecności substratu, zaś B - ilość tlenu wykorzystana przez bakterie w tym samym czasie w próbach kontrolnych.

Wyniki badań

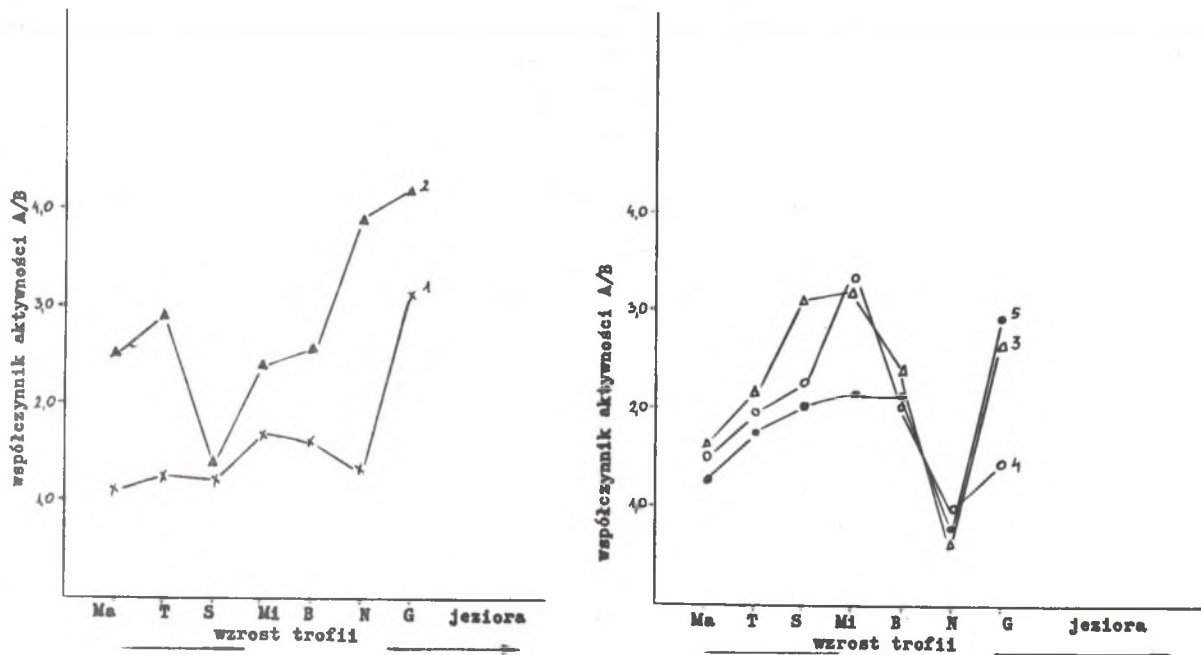
Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że jeziora wyżej wymienione stanowią pewnego rodzaju gradient troficzny, charakteryzujący się wzrastającą, wraz ze wzrostem trofii, liczebnością bakterii, zwiększającą się intensywnością podziałów komórek bakteryjnych [2], jak również zwiększającą się wielkością biomasy bakteryjnej (rys. 1, krzywa nr 1 i 2) oraz intensywnością procesów destrukcji materii organicznej, wyrażoną ilością tlenu, wykorzystanego przez wielogatunkowe, naturalne populacje bakterii w wodzie jeziornej, bez dodatku jakiegokolwiek substratów (rys. 1, krzywa nr 3).

Równolegle ze wzrostem trofii, w badanych jeziorach wzrasta wartość średnia współczynników aktywności heterotroficznej (A/B), wyliczonych w stosunku do glukozy i baktepeptonu (rys. 1, krzywa nr 4 i 5).

Układ krzywych charakteryzujących wartości średnie współczynników obliczonych dla substratów typu disacharydów (laktoza i sacharoza), glikozydu - salicyny oraz asparaginy - aminokwasu wykorzystywanego przez bakterie heterotroficzne jako źródło węgla i azotu organicznego, jak również cellobiozy, będącej produktem hydrolizy celulozy, nie wykazuje tak wyraźnych zależności, od stopnia eutrofii (rys. 2). Niektóre z nich jednak jak np. asparagina wykazują wyraźne tendencje wzrostowe, przebiegające równolegle ze stopniem eutrofizacji badanych jezior. Dotyczy to również w pewnej mierze salicyny i cellobiozy. Najniższe wartości współczynników aktywności heterotroficznej uzyskano dla Jeziora Nidzkiego, będącego jeziorem silnie zeutrofizowanym i zanieczyszczonym ściekami z celulozowni. Zahamowa-



Rys. 1. Ogólna liczba bakterii (mln/ml) - 1, biomasa bakterii (mg C/l) - 2, destrukcja materii organicznej (mg O₂/l) - 3, oraz współczynniki aktywności heterotroficznej mikroflory bakteryjnej w Jeziorach Mazurskich o różnej trofii wyliczone dla glukozy - 4, baktepeptonu - 5 (Ma-Mamry, T-Tałtowisko, S-Sniardwy, Mi-Mikołajskie, B-Belądany, N-Nidzkie, G-Guzianka).



Rys. 2. Współczynnik aktywności heterotroficznej mikroflory bakteryjnej w Jeziorach Mazurskich o różnej trofii, wyliczony dla: a - salicyny (1) i cellobiozy (2) oraz b - laktozy (3), sacharozy (4) i asparaginy (5). (Oznaczenia jezior - jak na rys. 1)

nie aktywności heterotroficznej mikroflory bakteryjnej wydaje się być spowodowane zmianą warunków fizyko-chemicznych w jeziorze pod wpływem zanieczyszczeń, jak również niezwykle wysoką aktywnością celulolityzną bakterii (rys. 1, krzywa nr 6), być może, dominujących w tym jeziorze.

Wody rzeki Narwi stanowią oalkiem innego typu układ troficzny niż wody jeziorne. Charakteryzują się one ogromną labilnością, spowodowaną stałym przepływem mas wodnych, okresowo lub nawet stale zanieczyszczonych ściekami komunalnymi i przemysłowymi. W niniejszej pracy przedstawiono jedynie wyniki badań dotyczące wpływu ścieków z celulozowni na ekosystem, nie dotyczą one wpływu wód podgrzanych z elektrociepłowni.

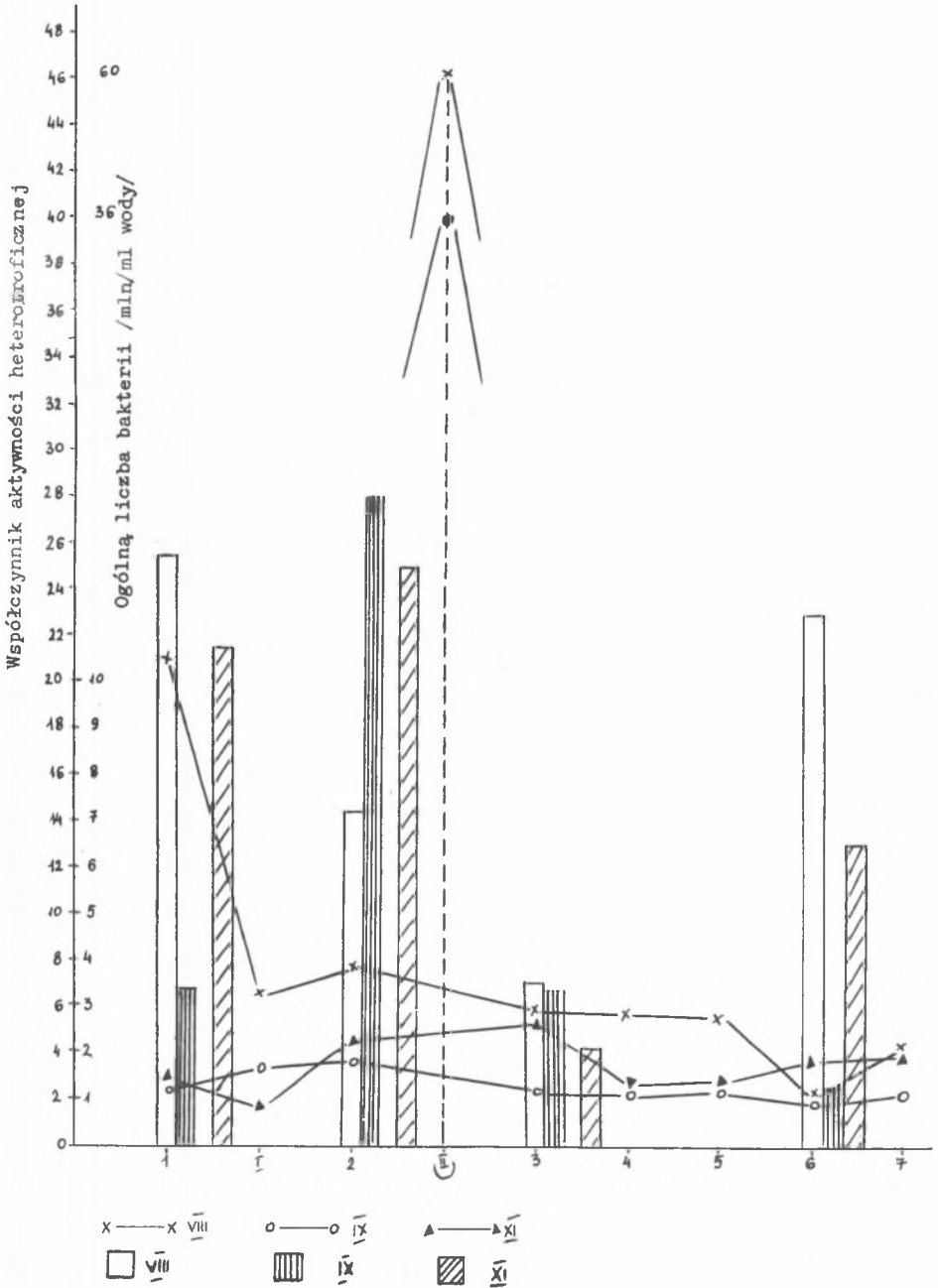
120 km odcinek rzeki Narwi obejmuje wody powyżej elektrociepłowni (w naszych badaniach jest to punkt kontrolny), będący jednocześnie punktem położonym powyżej zrzutu ścieków z celulozowni w Ostrołęce, oraz dalsze odcinki obejmujące zrzuty wód ciepłych jak również zrzuty wód z celulozowni odprowadzane razem ze ściekami komunalnymi. Dalsze odcinki sięgają aż do Zalewu Zegrzyńskiego [7].

Na 120 km odcinku Narwi ogólna liczba bakterii ulegała dużym wahaniom od ponad 10,0 mln/ml wody do 1,2 mln/ml przy Zalewie Zegrzyńskim. Obserwowano wyraźną tendencję spadkową w liczebności bakterii, w miarę oddalania się od punktu zrzutu ścieków (rys. 3).

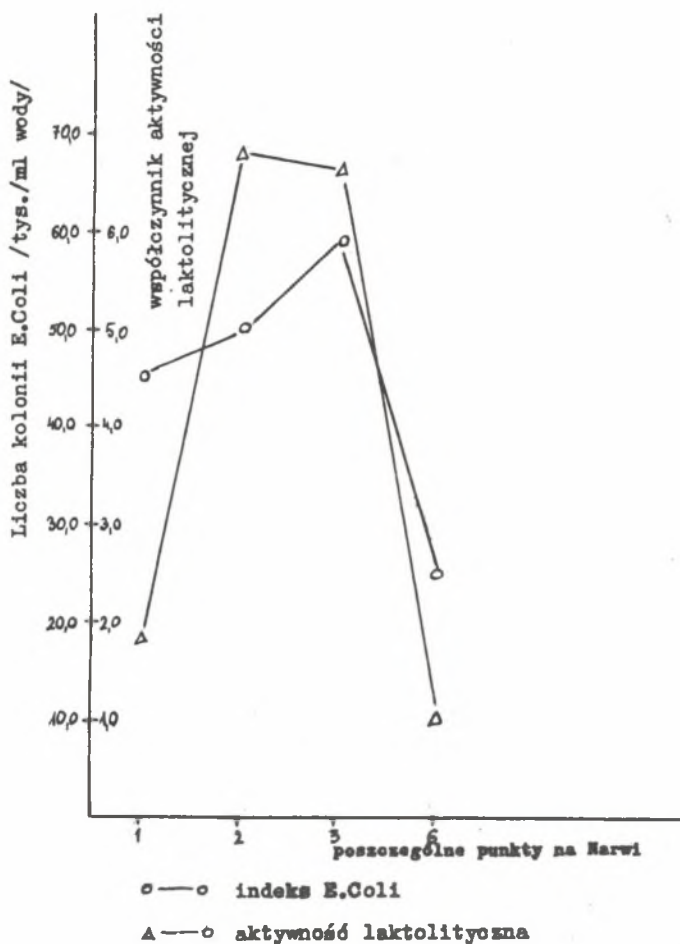
Współczynnik aktywności heterotroficznej mikroflory bakteryjnej wyliczony dla glukozy ulega dużym wahaniom na odcieży długości badanego odcinka rzeki. W tym wypadku nie stwierdzono tak wyraźnej zależności pomiędzy liczebnością bakterii a ich aktywnością. Na stanowisku znajdującym się w bezpośrednim sąsiedztwie elektrociepłowni stwierdzono wysokie wartości współczynnika, spowodowane niewątpliwie podniesieniem (bardzo niewielkim) temperatury wody (rys. 3 stanowisko 2). Na stanowisku 3 wartości współczynnika były znacznie niższe, aczkolwiek ogólna liczba bakterii, na tych stanowiskach nie wykazywała tak zdecydowanych różnic.

Kanał ściekowy odprowadzający wody z celulozowni, jest jednocześnie kanałem odpływowym dla ścieków komunalnych, miasta Ostrołęka. Znajduje to wyraźne odbicie w wynikach analiz mikrobiologicznych. Index coli i aktywność heterotroficzna mikroflory bakteryjnej wyliczona jako współczynnik aktywności laktolitycznej (dla laktozy jako substratu) wykazują wyraźną zbieżność (rys. 4) i charakteryzują w znacznej mierze stopień zanieczyszczenia wód rzeki Narwi na poszczególnych stanowiskach.

Narew w dużym stopniu zanieczyszczona jest ściekami z celulozowni w Ostrołęce. Szczegółowa analiza bakterii celulolitycznych i aktywności celulolitycznej wykazała, że ścieki te docierają aż do Zalewu Zegrzyńskiego. Krzywa liczebności bakterii celulolitycznych (rys. 5) i krzywa aktywności celulolitycznej mikroflory bakteryjnej wykazują wyraźną zbieżność. Współczynnik aktywności wyliczony dla celulozy jako substratu wykazuje najwyższe wartości na stanowiskach znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie kanału ściekowego z celulozowni.



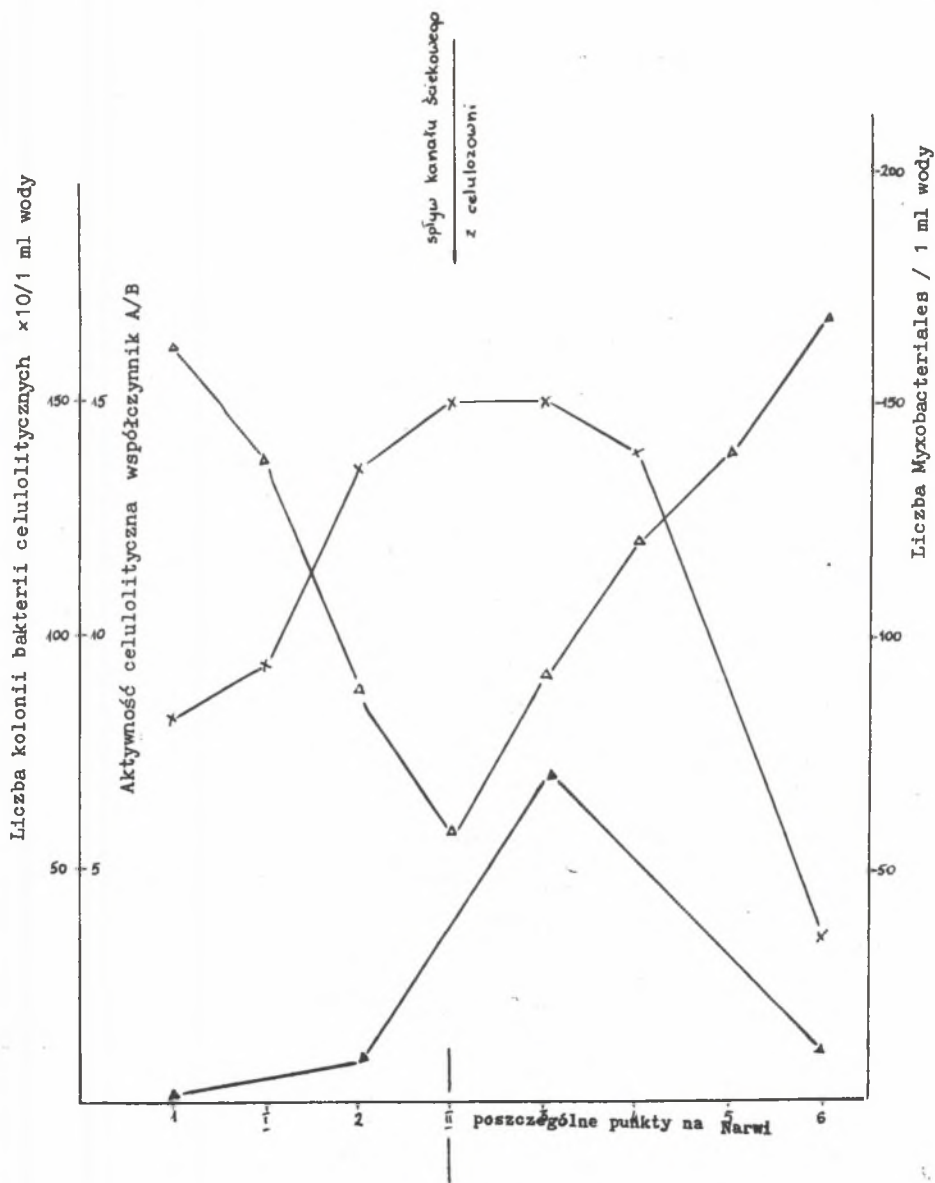
Rys. 3. Ogólna liczba bakterii i aktywność heterotroficzna mikroflory bakteryjnej w wodzie rzeki Narwi



Rys. 4. Indeks E. coli i aktywność laktolityczna w różnych punktach rzeki Narwi

○—○ indeks E.Coli
 △—△ aktywność laktolityczna

W wodzie pochodzącej z poszczególnych stanowisk na rzece przeprowadzono szczegółową analizę bakterii celulolitycznych, wyodrębniając przedstawicieli Eubacteriales i Myxobacteriales. Stwierdzono, że w punktach najbardziej zanieczyszczonych ściekami z celulozowni, a jednocześnie ściekami komunalnymi, wśród mikroflory bakteryjnej odznaczającej się zdolnością do hydrolizy celulozy, dominują bakterie celulolityczne należące do Eubacteriales. Natomiast w miarę oddalania się od punktu zrzutu ścieków, w co-



Rys. 5. Stopień zanieczyszczenia wód rzeki Narwi ściekami z celulozowni w Ostrołęce

- x—x bakt. celulołityczne
- ▲—▲ aktywność celulołityczna
- △—△ Myxobacteriales

raz większych ilościach występują przedstawiciele Myxobacterales (rys.5). Do pewnego stopnia można je uważać za wskaźniki czystości wód. Podobne obserwacje dotyczą jezior Mazurskich.

Dyskusja

Procesy samoczyszczenia wód naturalnych przebiegają dwoma drogami - na drodze chemicznej i na drodze mikrobiologicznej. Procesy chemiczne w układach bezbakteryjnych, w warunkach sterylnych zachodzą bardzo wolno, natomiast na drodze mikrobiologicznej - niezwykle intensywnie. Substraty tak trudno rozkładalne jak np. chityna, ligniny, czy celuloza na drodze chemicznej właściwie nie ulegają rozkładowi, hydroliza ich przeprowadzana jest z mniejszą lub większą szybkością przez bakterie na drodze enzymatycznej, przez odpowiednie grupy fizjologiczne bakterii, zawierając ewentualnie wytwarzające w wyniku adaptacji, specyficzne układy enzymatyczne. Ścieki przemysłowe i komunalne zawierające różnego typu związki organiczne, całkiem obce niejednokrotnie dla ekosystemów wodnych, niezanieczyszczonych, zmieniają warunki fizyko-chemiczne w środowisku, a jednocześnie zmieniają całkowiłe populacje bakterii, powodując ich adaptację do nowych, obcych substratów organicznych. W wyniku tego niejednokrotnie następuje eliminacja całych grup populacji bakterii, nie przystosowanych do nowych, zmienionych, warunków fizyko-chemicznych. W jeziorze Długim Olsztyńskim, jak również i w jeziorach Długim Szczołińskim i Miejskim w Szczytnie [8] dominującą populacją bakterii są formy pałeczkowate i laseczkowate, formy kokkoidalne uległy tam całkowiłej eliminacji na skutek wieloletnich zanieczyszczeń ściekami miejskimi i przemysłowymi. Natomiast w jeziorach Mazurskich nie zanieczyszczonych, lub zanieczyszczonych w nieznacznym stopniu dominują formy kokkoidalne występujące tam w ponad 90% w populacjach bakterii. Do takich jezior należą jeziora Tałtowsko, Śniardwy, Mikołajskie i inne, tego typu.

Wraz z eliminacją pewnych typów populacji bakterii następuje adaptacja innych grup bakterii do nowych substratów. Wskaźnikiem tego jest aktywność heterotroficzna, charakteryzująca zdolność do utleniania pewnych wybranych substratów - przez wybrane, indukowane grupy fizjologiczne bakterii. Aktywność heterotroficzna w pewnej mierze może być uważana za wskaźnik tempa destrukcji materii organicznej, jak również za wskaźnik intensywności procesów samoczyszczenia wód naturalnych. Stosując odpowiedni dobór substratów możliwe jest, przez oznaczenie współczynnika aktywności heterotroficznej, oznaczenie stopnia zanieczyszczenia, jak również rodzaju zanieczyszczenia wód.

Wydaje się że metodę tę można stosować jako metodę diagnostyczną do badania ekosystemów wodnych i stopnia ich eutrofizacji.

LITERATURA

- [1] Godlewska-Lipowa W.A.: Relationship between the Generation Time of a Group of Bacteria in Water and the Exposure Time and capacity of Flasks. Bull. de l'Acad. Pol. des Scien. XVII, 4, 233-237, 1969.
- [2] Godlewska-Lipowa W.A.: Generation Time of a Group of Bacteria in the Water of Mazurian Lakes. Pols. Arch. Hydrobiol. 17(30), 1/2, 117-120, 1970.
- [3] Godlewska-Lipowa W.A.: The effect of Naturients on Growth of Bacterial Population in Water. Bull. de l'Acad. Pol. des Scien. XX, 7, 473-475, 1972.
- [4] Godlewska-Lipowa W.A.: Metody badań mikrobiologicznych wody w świetle potrzeb współczesnej hydrobiologii. Pols. Arch. Hydrobiol. in press. 1973.
- [5] Godlewska-Lipowa W.A.: Heterotrophic activity of Bacteria in the Water of Mazurian Lakes of Different Trophic Types. Pols. Arch. Hydrobiol. in press, 1973.
- [6] Godlewska-Lipowa W.A.: Wykorzystywanie substratów organicznych przez naturalne zespoły bakterii w jeziorach Mazurskich. Pols. Arch. Hydrobiol. in press, 1973.
- [7] Godlewska-Lipowa W.A., Dudzisz J., Paciorkiewicz M.: Badania mikrobiologiczne wód rzeki Narwi. Manuskrypt IGW, Warszawa 1973.
- [8] Godlewska-Lipowa W.A., Zmysłowska I., Sobierajska M.: Badania mikrobiologiczne jezior Miejskiego i Długiego w Szczytnie, Zesz. Nauk. WSR Olsztyn in press, 1973.
- [9] Кузнецов С.И., Романенко В.И.: Микробиологическое изучение внутренних водоемов, 1963.
Microbiological study of the water bodies. Izdat. A. Nauk SSSR, Leningrad, 199, 1963.

ГЕТЕРОТРОФИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БАКТЕРИАЛЬНОЙ МИКРОФЛОРЫ
КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ВОД

Резюме

Исследовали Мазурские озёра различной степени эвтрофии и воды реки Нарев загрязнены бытовыми и промышленными полутантами из гопода Остроленка. Пришли к выводу, что вытекает зависимость между общим количеством бактерий, величиной биомассы и коэффициентом гетеротрофической активности бактериальной микрофлоры. Коэффициент считанный для глюкозы, как энергетического субстрата, в местах, загрязнённых сточными водами, был очень высокий, в незагрязнённых водах - низкий. В месте с изменчивостью коэффициента, изменялось общее количество бактерий в воде. В водах реки Нарви анализировали количество целлюлолитических бактерий, а между ними - количество бактерий из рода Мухобacteriales. Пришли к выводу, что в воде, загрязнённой осочными водами, количество целлюлолитических бактерий - очень большое. В этом - бактерий из рода Мухобacteriales - очень - мало. Они встречаются в большом количестве - в чистых водах.

HETEROTROPHIC ACTIVITY OF BACTERIAL MICROFLORA AS AN INDEX
OF THE DEGREE OF INLAND WATERS POLLUTION

S u m m a r y

The objects of investigations were variously eutrophized Mazurian lakes and waters of the river Narew, from Ostrołęka to the Zegrze Dam, polluted with municipal and industrial wastes. There was stated a relationship among the quantity of microbes, the weight of bacterial biomass and the heterotrophic activity coefficient of bacterial microflora. The value of this coefficient, counted for glucose by way of an energetistic substrate, was big in the places polluted with waste waters, and small in the polluted waters. The quantity of microbes in the water changed simultaneously to the value of the coefficient.

In waters of the river Narew there was examined the quantity of cellulolytic bacteria, with special attention paid to the Myxobacteriales cellulolytic bacteria. It was stated that the quantity of cellulolytic bacteria in the water polluted with pulp mill waste waters was big, but the participation of the Myxobacteriales bacteria was very small then. Big quantities of Mycobacteriales were found in unpolluted waters.