

OCENA SANITARNO-BAKTERIOLOGICZNA OSADÓW DENNYCH
JEZIORA WIGRY W LATACH 1998–1999

EWA KORZENIEWSKA, ANNA GOTKOWSKA-PLACHTA

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Katedra Mikrobiologii Środowiskowej
ul. Romana Prawocheńskiego 1, 10-957 Olsztyn-Kortowo

Keywords: lake, bottom sediments, bacteria, indicator microorganisms.

EVALUATION OF SANITARY-BACTERIOLOGICAL STATE OF BOTTOM SEDIMENTS
OF WIGRY LAKE IN 1998–1999

The paper presents the results of the studies on a degree of pollution and sanitary–bacteriological state of bottom sediments of Wigry Lake in 1998 and 1999. Total Viable Count at 20°C (TVC 20°C) and Total Viable Count at 37°C (TVC 37°C) were used as indicators of pollution, while Total Coli (TC), Faecal Coli (FC), Faecal *Streptococcus* – *Enterococcus* (FS) and *Clostridium perfringens* – as indicators of the sanitary state. Bottom sediment samples were collected from 3 sites situated in the centre of the lake and from 6 sites in the vicinity of the lake shore. Sandy and gravel offshore bottom sediments showed less degree of pollution than muddy bottom sediments collected from the centre of the lake. Higher numbers of anaerobic spore-forming and sulphite reducing bacteria (*Clostridium perfringens*) found at sites 1 and 2 in the vicinity of the mouth of Czarna Hańcza River to Lake Wigry. At those places a higher bacteriological pollution of bottom sediments samples was found.

Streszczenie

Praca przedstawia wyniki badań oceny sanitarno-bakteriologicznej osadów dennych jeziora Wigry. Próby do badań pobierano od maja 1998 do listopada 1999. Bakteriologicznymi wskaźnikami oceny były bakterie oznaczane na agarze odżywczym w temperaturze 20 i 37°C, bakterie grupy coli, bakterie grupy coli typu kałowego oraz paciorkowce kałowe. Do badań wytypowano 9 stanowisk usytuowanych w różniących się od siebie w sposób znaczący pod względem morfometrycznym częściach jeziora – trzy w pobliżu najgłębszych miejsc jeziora oraz sześć w strefie litoralowej jeziora. Piaszczyste osady pobierane w strefie przybrzeżnej jeziora Wigry wykazywały znacznie niższy stopień zanieczyszczenia bakteriologicznego w porównaniu z mulistymi osadami pobieranymi z centralnej części jeziora. Największym zanieczyszczeniem charakteryzowały się próby osadów dennych pobierane na stanowiskach 1 i 2 usytuowanych w rejonie ujścia rzeki Czarnej Hańczy, która wprowadza duże ilości oczyszczonych ścieków z Oczyszczalni Ścieków w Suwałkach do północnej części jeziora Wigry, co ma również ogromny wpływ na zawartość dużej liczby zarodników bakterii przetrwalnikujących redukujących siarczynę z gatunku *Clostridium perfringens* w osadach dennych pobieranych na tych stanowiskach. Jak wykazują Payment i Franco [19] obecność zarodników tych bakterii w wodzie pitnej może wskazywać na obecność oocyst *Cryptosporidium parvum* oraz cyst *Giardia lamblia*.

WSTĘP

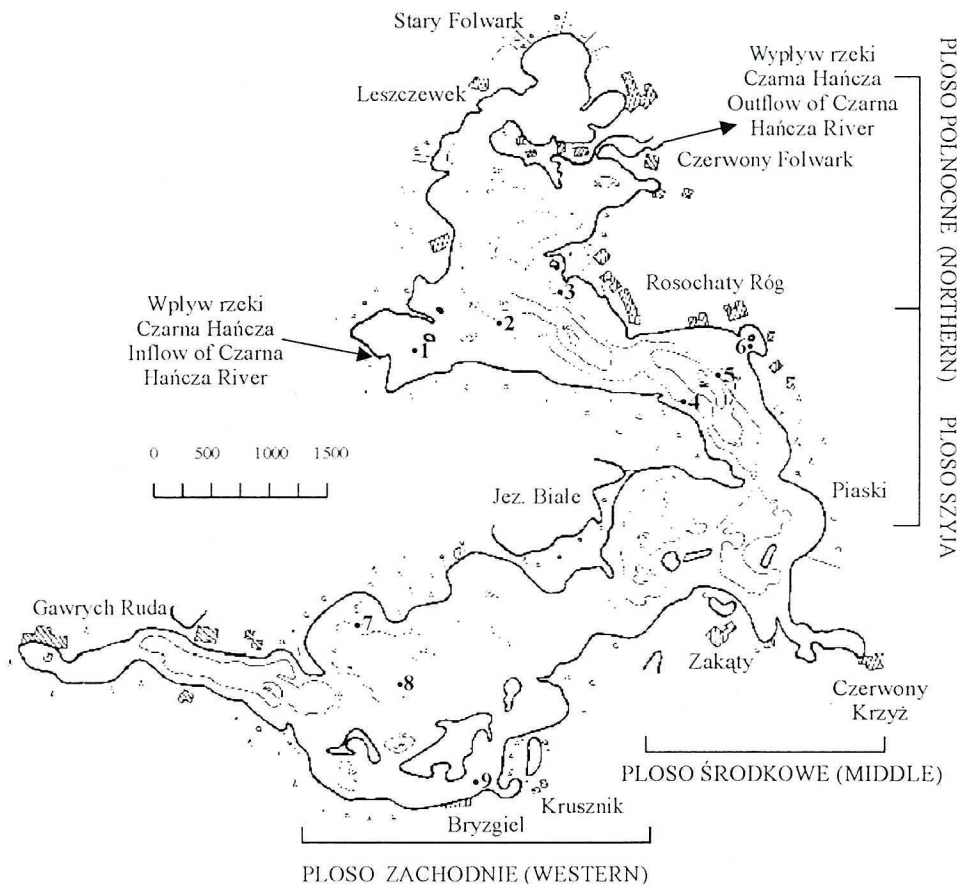
Ilość i jakość osadów zależy od stopnia zeutrofizowania zbiornika wodnego, od jego głębokości i innych czynników, wśród których znaczenie mają charakter zlewni, jej budowa morfologiczna i geologiczna, warunki klimatyczne, rodzaj szaty roślinnej i stan zagospodarowania. Do zbiornika wodnego, ze zlewni oraz ze ścieków miejskich i przemysłowych przedostają się zawiesiny mineralne i organiczne, opadające po pewnym czasie na dno. Wielu autorów podkreśla znaczny wzrost ilości drobnoustrojów (nawet 100 do 1000-krotny) w osadach dennych w porównaniu z wodą stykającą się z tymi osadami [11, 22]. Davies i wsp. [7], badając rzekę Georges stwierdzili znacznie wyższe zanieczyszczenie bakteriami pochodzenia kałowego górnej warstwy osadów dennych w porównaniu z osadami niżej położonymi. Hill i wsp. [12] badając 5 cm warstwę osadów dennych stwierdzili najwyższe liczebności *Clostridium perfringens* w górnej 1 cm warstwie, stopniowo malejące do głębokości 5 cm.

Albinger [1] podaje, że istnieje zależność pomiędzy liczebnością bakterii a wielkością cząstek osadów. Wielkocząsteczkowe osady cechuje zazwyczaj znacznie mniejsza zawartość drobnoustrojów niż osady muliste. Osady muliste zawierają również znacznie więcej bakterii niż osady piaszczyste. Osady dennie stanowią swoisty rezerwuuar bakterii pochodzenia kałowego, w tym również potencjalnie chorobotwórczych, które mogą przeżywać w nich od kilku miesięcy do kilku lat [6], dlatego sugeruje się prowadzenie stałej kontroli ich stanu sanitarno-bakteriologicznego równoległe z kontrolą stanu sanitarno-bakteriologicznego wody danego zbiornika. Ponieważ wskaźnikami zanieczyszczenia odległego w czasie mogą być beztlenowe bakterie zarodnikujące z gatunku *Clostridium perfringens* [4, 13], należy rozszerzyć badania sanitarne o oznaczanie obecności tych drobnoustrojów. Ferguson i in. [9] stwierdzili istotną dodatnią korelację pomiędzy liczebnością tych drobnoustrojów a obecnością bakterii z rodzaju *Aeromonas* spp., cyst *Giardia* spp. oraz F-RNA bakteriofagów w wodzie rzeki Georges w Sydney. Z uwagi na łatwiejszy sposób oznaczania zarodników *Clostridium perfringens* w porównaniu z tymi mikroorganizmami, uwzględnia się go jako wskaźnik sanitarny zarówno w badaniach wody jak i osadów dennych.

OBIEKT BADAŃ

Jezioro Wigry znajduje się na Pojezierzu Suwalsko-Augustowskim w centralnej części Wigierskiego Parku Narodowego (Rys. 1). Jest to zbiornik pochodzenia lodowcowego, rynnowo-morenowy, o powierzchni 2 118,3 ha i maksymalnej głębokości 73 m. Głównym dopływem jeziora jest rzeka Czarna Hańcza. Do jeziora dopływają jeszcze wody rzeki Wiatrołuży oraz cieki wypływające z jezior Leszczewek, Staw, Czarne oraz zespołu jezior Długie, Okragłe i Muliczne. Ogólna masa wody dopływającej do jeziora wynosi rocznie ok. 78 mln m³. Woda z jeziora Wigry odpływa w rejonie tzw. Płoso Północnego rzeką Czarną Hańczą. Brzegi jeziora porośnięte są lasem iglastym, a we wschodniej, północnej i południowej części jeziora usytuowane są nieliczne zabudowania gospodarcze i letniskowe.

W okresie letnim występuje typowe uwarstwienie termiczne mas wody (epi-, meta- i hypolimnion). W meta- i hypolimnionie występują znaczne deficyty tlenu. W okresie tym obniża się przezroczystość wody i wzrasta zasobność zbiornika w fosfor i inne makroskładniki. Za ten stan rzeczy w dużej mierze odpowiada rzeka Czarna Hańcza (ilość oczyszczono-



Rys. 1. Rozmieszczenie stanowisk poboru prób (1,2,...,9) do badań bakteriologicznych na jeziorze Wigry
Location sketch of Wigry Lake. 1,2,...,9 – bottom sediments sampling sites

nych ścieków dopływających do rzeki z oczyszczalni w Suwałkach z trzecim stopniem oczyszczenia – ok. 16–18 tys. m³/dobę), mniejsze znaczenie ma spływ ze zlewni.

POBÓR PRÓB WODY

Badania mikrobiologiczne prowadzono w odstępach jednomiesięcznych od maja do listopada w latach 1998–1999. Objęto nimi osady dennie 3 stanowisk usytuowanych w pobliżu najgłębszych miejsc jeziora Wigry, a także 6 stanowisk usytuowanych w jego strefie przybrzeżnej. Próby osadów dennych pobierano z warstwy 0–2 cm do jałowych naczyń szklanych przy użyciu przyrządu Kajaka. Łącznie w okresie badawczym, ze wszystkich stanowisk pobrano 97 prób osadów. Wszystkie próby osadów dennych przewożono do laboratorium w pojemnikach z suchym lodem w temperaturze 4–6°C i natychmiast poddawano analizie. Czas od chwili pobrania prób wody do wykonania analiz nie przekraczał 12 godzin.

BADANIA MIKROBIOLOGICZNE

W pobieranych próbach osadów dennych oznaczano:

1. ogólną liczbę (w 1 g s.m. osadów dennych) bakterii na agarze odżywcym (bulionowym) po 72 godzinach inkubacji w temperaturze 20°C,
2. ogólną liczbę (w 1 g s.m. osadów dennych) bakterii na agarze odżywcym (bulionowym) po 24 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C,
3. najbardziej prawdopodobną liczbę (w 1 g s.m. osadów dennych) bakterii grupy coli na pożywce Eijkmana po 48 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C,
4. najbardziej prawdopodobną liczbę (w 1 g s.m. osadów dennych) bakterii grupy coli typu kałowego na pożywce Eijkmana po 24 godzinach inkubacji w temperaturze 44,5°C,
5. najbardziej prawdopodobną liczbę (w 1 g s.m. osadów dennych) paciorkowców kałowych na pożywce bulionowej z błękitem metylenowym i azydkiem sodowym po 72 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C,
6. liczbę zarodników beztlenowych bakterii (w 1 g s.m. osadów dennych) przetrwalnikujących redukujących siarczyny (*Clostridium perfringens*) na podłożu Wilson – Blaira po 18 godzinach inkubacji w temperaturze 37°C (po uprzedniej pasteryzacji prób w temperaturze 80°C/10 minut) [5].

Wszystkie oznaczenia wykonywano w 3 równoległych powtórzeniach tej samej próby osadów dennych. Jałowo odważone 10 g masy przenoszono do kolb szklanych z 90 cm³ jałowego roztworu fizjologicznego (0,85% roztwór NaCl), homogenizowano przez 15 minut i wysiewano na wyżej wymienione podłoża. Wyniki badań podano w przeliczeniu na 1 g suchej masy. Ogólną liczbę bakterii na agarze odżywcym w temperaturze 20 i 37°C badano zgodnie z wytycznymi podanymi przez Polską Normę [20]. NPL/1 g s.m. bakterii grupy coli, bakterii grupy coli typu kałowego i paciorkowców kałowych określono zgodnie z wytycznymi zawartymi w Standard Methods [2] i odczytano z tablic Mc Crady'ego. Najwyższe rozcieńczenia prób, w których stwierdzono wynik dodatni na obecność bakterii grupy coli oraz bakterii grupy coli typu kałowego przesiewano oczkiem ezy na pożywkę z zielenią brylantową, a następnie inkubowano w temperaturze odpowiednio 37 i 44°C w celu sprawdzenia zdolności wytwarzania gazu zgodnie z obowiązującą wówczas Polską Normą [21]. Wyniki porównywano z kryteriami podanymi przez Kavka [14] i Kohl [15] za Albinger [1].

WYNIKI I DYSKUSJA

Z uwagi na duże rozczłonkowanie jeziora Wigry, zróżnicowanie głębokości, charakteru dna i brzegów, poszczególne jego części mają dość wyraźnie zaznaczoną odrębność hydrobiologiczną [3]. Płoso Północne wykazuje zwiększony stopień eutrofizacji [23], związany z nadmiernym dopływem biogenów rzeką Czarną Hańczę oraz z okolicznych pól i lasów. Zróżnicowany charakter osadów dennych jeziora Wigry (sucha masa od 7,8% do 71%) i stopnia zanieczyszczenia wody tego jeziora znajduje odzwierciedlenie w różnej liczebności bakterii wskaźnikowych stopnia zanieczyszczenia i stanu sanitarnego.

W osadach dennych jeziora Wigry ogólna liczba bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20 i 37°C wahała się odpowiednio od 2,6 tys. jtk w 1 g suchej masy na stanowisku 5 w październiku 1998 r. do 5 mln jtk w 1 g suchej masy na stanowisku 2 w maju 1999 r. i od 1,8 tys. jtk w 1 g suchej masy na stanowisku 6 w listopadzie 1998 r. do 990,3 tys.

Tabela 1. Ogólna liczba bakterii na agarze odżywczym w temperaturze a) 20°C i b) 37°C w osadach dennych jeziora Wigry w 1998 i 1999 r. Wartości średnie z 3 równoległych oznaczeń w 1 g suchej masy
 Total viable counts at a) 20°C and b) 37°C in bottom sediments of Lake Wigry in 1998 and 1999 years. Mean of 3 simultaneous determinations in 1 g dry wt.

Stanowisko (Site)	Liczba badanych prób (Number of samples)	1998 rok (year)								1999 rok (year)					
		Miesiące (Months)								średnia (mean)	Miesiące (Months)				średnia (mean)
		V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	V-XI		IV	V	VI	XI	
1	11 a	223 440	77 510	169 030	302 880	522 520	82 290	188 910	223 800	231 280	3 326 360	780 980	981 710	1 330 080	
	b	444 840	99 280	43 820	165 520	128 700	20 730	136 490	148 480	37 090	108 790	116 500	131 210	98 390	
2	11 a	78 250	275 060	86 110	96 110	98 270	273 660	61 520	124 140	110 920	4 998 070	2 421 360	1 821 890	2 338 060	
	b	64 360	146 510	35 630	155 870	48 170	112 580	76 340	91 350	95 770	990 330	35 850	248 550	342 620	
3	10 a	39 070	100 820	–	65 440	99 710	8 170	8 620	53 640	166 430	26 320	119 390	84 880	99 260	
	b	55 410	75 600	–	11 420	82 250	3 310	5 000	38 920	130 690	10 970	13 430	2 200	44 270	
4	11 a	32 440	24 600	62 670	59 760	17 780	42 210	43 350	40 400	171 710	666 860	161 540	468 190	367 080	
	b	37 900	32 000	19 790	54 120	8 360	17 770	7 300	25 320	49 500	38 800	27 880	62 860	32 390	
5	11 a	12 800	94 630	40 040	84 500	168 200	2 560	12 680	59 340	345 290	146 300	778 030	68 630	334 560	
	b	10 970	110 810	27 200	65 010	71 610	2 300	17 640	43 650	303 800	52 380	140 450	58 620	138 810	
6	11 a	45 740	36 680	38 180	129 800	113 650	66 810	30 840	65 960	153 140	38 730	98 820	141 800	108 120	
	b	56 820	77 920	28 730	17 260	60 460	33 220	1 750	39 450	224 330	18 430	95 190	30 390	92 080	
7	11 a	31 200	118 640	69 010	78 520	59 720	49 230	40 920	63 890	223 120	1 099 740	5 374 030	12 160	1 677 260	
	b	39 660	62 410	27 930	106 210	26 400	52 610	10 730	46 560	46 890	62 670	104 470	5 340	54 840	
8	10 a	54 640	93 460	67 130	109 090	16 490	–	44 990	64 300	88 850	2 494 020	4 595 320	37 860	1 804 010	
	b	58 080	81 240	38 080	192 340	79 260	–	11 250	76 710	57 020	148 870	197 390	98 770	125 510	
9	11 a	50 990	66 190	109 660	83 520	49 570	41 420	36 470	62 550	159 750	169 160	219 640	349 440	224 500	
	b	66 260	62 030	49 290	25 300	24 590	46 770	45 370	45 660	292 730	89 140	46 300	68 040	124 050	

jtk w 1 g suchej masy na stanowisku 2 w maju 1999 r. (Tab. 1). Ogólna liczba bakterii grupy coli wahała się od < 3 NPL/1 g suchej masy na różnych stanowiskach badawczych w czerwcu i wrześniu 1998 r. do 1,5 mln NPL/1 g suchej masy na stanowisku 1 w maju 1998 r. (Tab. 2). Liczba bakterii grupy coli typu kałowego wahała się od < 3 NPL w 1 g suchej masy w różnym okresie badawczym na różnych stanowiskach do 197,8 tys. NPL/1 g suchej masy na stanowisku 1 w listopadzie 1998 r. (Tab. 2). Liczba paciorkowców kałowych wahała się od < 3 NPL/1 g suchej masy na różnych stanowiskach badawczych w maju, sierpniu i listopadzie 1998 r. oraz w maju i czerwcu 1999 r. do 977,2 tys. NPL/1 g suchej masy na stanowisku 9 w kwietniu 1999 r. (Tab. 2).

Porównanie wyników badań ogólnej liczby bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20°C oraz bakterii grupy coli typu kałowego w osadach dennych jeziora Wigry z siedmiopunktową skalą oceny stopnia „obciążenia” ich substancją organiczną łatwo rozkładalną przez bakterie heterotroficzne oraz odchodami ludzi i/lub zwierząt podaną przez Kohl [15] i Kavka [14] w modyfikacji Albingera [1] zestawionych w tabeli 3 pozwala wnioskować o bardzo małym, wyjątkowo (w 1999 r.) małym „obciążeniu” substancją organiczną łatwo rozkładalną przez bakterie heterotroficzne oraz bardzo małym, małym i umiarkowanym, wyjątkowo (w 1998 r.) umiarkowanie wysokim „obciążeniu” odchodami ludzi i/lub zwierząt. W 1998 r. osady denne pobierane na wszystkich 9 stanowiskach charakteryzowały się bardzo małym „obciążeniem” substancją organiczną łatwo rozkładalną przez bakterie heterotroficzne. W 1999 r. tylko na stanowiskach 2, 7 i 8 niewielki procent (25%) prób osadów dennych wykazywał małe „obciążenie” substancją organiczną łatwo rozkładalną przez bakterie heterotroficzne. Najniższy procent prób osadów dennych o najmniejszym „obciążeniu” odchodami ludzi i/lub zwierząt stwierdzano na stanowisku 1 w 1998 r., najwyższy (100%) na stanowiskach 5, 6, 7 i 8 w 1998 r. oraz na stanowiskach 3 i 7 w 1999 r. W okresie badawczym najniższy procent prób osadów dennych o bardzo małym „obciążeniu” substancją organiczną łatwo rozkładalną przez bakterie heterotroficzne stwierdzano w maju i czerwcu 1999 r. – ok. 78–89%, odchodami ludzi i/lub zwierząt zaś w listopadzie 1999 r. – ok. 33%.

Na nieznaczne zanieczyszczenie osadów dennych substancją organiczną wskazuje również stosunek liczbowy bakterii oznaczanych na agarze odżywcym w temperaturze 20°C do bakterii oznaczanych w temperaturze 37°C, w większości badanych prób osadów dennych niższy od 10.

Stosunek liczbowy bakterii grupy coli typu kałowego do paciorkowców kałowych w osadach dennych jeziora Wigry w przeciwieństwie do prób wody pobieranych na tych stanowiskach [16] wskazywał na udział zanieczyszczeń pochodzących zarówno od ludzi, jak i zwierząt, w tym również dziko żyjących. Różnice w ocenie charakteru zanieczyszczenia wody i osadów dennych jeziora Wigry mogły być wynikiem różnic w przeżywalności badanych bakterii wskaźnikowych w obu tych biotopach. Wielu autorów stwierdza dłuższą przeżywalność bakterii wskaźnikowych w osadach dennych aniżeli w wodzie [10, 17].

Obecność bakterii beztlenowych z gatunku *Clostridium perfringens* jest ściśle związana z zanieczyszczeniami pochodzącymi od ludzi i/lub zwierząt stałocieplnych. Liczba tych drobnoustrojów w odchodach ludzi może wynosić około 1600 jtk w 1 g świeżej masy, w ściekach bytowo-gospodarczych blisko 80 tys. jtk w 100 cm³, w ściekach po procesie chlorowania około 4 tys. jtk [8]. W osadach dennych jeziora Wigry liczba zarodników tych bakterii nie przekraczała 1,6 tys. w 1 g świeżej masy osadów dennych (od < 3 do 20 070 NPL/1 g suchej masy). Tak wysokie liczebności zarodników tych bakterii stwierdzano jedynie

Tabela 2. Ogólna liczba TC – bakterii grupy coli, FC – kałowych bakterii grupy coli, FS – paciorkowców kałowych w osadach dennych jeziora Wigry w 1998 i 1999 r. Wartości średnie z 3 równoległych oznaczeń w 1 g suchej masy

Number of TC – total coliforms, FC – faecal coliforms and FS – faecal streptococci in bottom sediments of Lake Wigry in 1998 and 1999 years. Mean of 3 simultaneous determinations in 1 g dry wt

Stanowisko (Site)	Liczba badanych prób (Number of samples)	1998 rok (year)								1999 rok (year)					
		Miesiące (Months)								Średnia (mean)	Miesiące (Months)				Średnia (mean)
		V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	V-XI		IV	V	VI	XI	
1	11	TC	1 504 300	< 3	1 151 340	238 900	965 250	18 850	923 130	685 970	27 990	261 510	392 670	175 630	214 450
		FC	102 150	< 3	37 000	53 750	32 180	15 700	197 810	62 660	27 990	4 190	130 890	55 910	54 750
		FS	9 670	2 290	122 140	23 910	579 150	23 130	< 3	108 610	174 950	< 3	30 540	26 130	57 910
2	11	TC	31 990	11 280	651 700	1 125 230	291 340	536 110	25 770	381 920	11 270	851 070	109 730	811 570	445 910
		FC	< 3	3 010	2 370	3 210	< 3	1 950	61 200	10 250	4 000	12 380	69 500	51 180	34 270
		FS	< 3	340 000	88 870	200 930	1 550	7 310	1 930	91 510	19 710	< 3	6 580	55 510	20 450
3	10	TC	2 570	2 490	–	21 440	4 480	199 620	12 730	40 560	5 130	12 820	72 180	4 400	23 630
		FC	< 3	1 110	–	< 3	3 360	11 040	215 470	38 500	< 3	2 560	1 160	2 830	1 640
		FS	< 3	8 310	–	< 3	55 950	1 320	< 3	10 930	7 690	< 3	4 040	2 830	3 640
4	11	TC	258 400	< 3	129 040	91 850	< 3	29 990	1 570	72 980	14 510	2 300	42 140	65 090	31 010
		FC	5 170	< 3	12 900	< 3	610	7 070	2 860	4 090	< 3	< 3	1 270	13 870	3 780
		FS	< 3	1 480	23 230	48 840	610	6 750	570	11 640	3 990	580	< 3	36 190	10 190
5	11	TC	1 330	2 750	3 050	26 180	2 830	18 760	2 570	8 210	20 890	662 250	17 160	629 110	323 350
		FC	< 3	< 3	< 3	5 890	< 3	< 3	3 310	1 310	< 3	27 090	2 290	14 300	10 920
		FS	< 3	309 640	8 700	62 190	11 780	680	7 350	57 190	6 270	< 3	85 810	142 980	58 770
6	11	TC	30 950	< 3	14 970	13 680	5 930	5 840	1 290	10 380	14 690	4 690	75 670	32 070	31 780
		FC	< 3	< 3	1 500	< 3	1 190	1 460	< 3	590	< 3	< 3	2 720	15 190	4 480
		FS	< 3	6 710	16 840	2 740	1 190	164 290	13 850	29 370	31 000	< 3	13 620	15 190	14 950
7	11	TC	11 060	< 3	2 600	184 840	6 440	58 790	1 570	37 900	2 830	397 180	128 980	1 480	132 620
		FC	980	< 3	< 3	3 700	< 3	2 650	1 570	1 270	< 3	< 3	7 740	3 320	2 760
		FS	< 3	8 750	9 760	10 270	4 830	132 270	33 540	28 490	565 890	< 3	< 3	9 210	143 770
8	10	TC	22 930	< 3	< 3	2 450	2 880	–	17 800	7 680	4 350	37 120	224 820	78 190	86 120
		FC	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	–	1 800	300	12 080	< 3	3 600	20 580	9 070
		FS	< 3	165 130	66 510	16 330	2 880	–	< 3	41 810	144 990	< 3	31 480	78 190	63 670
9	11	TC	15 270	< 3	2 280	14 520	4 330	209 430	108 540	50 620	< 3	456 060	107 670	10 280	143 500
		FC	< 3	< 3	< 3	< 3	1 180	4 190	17 370	3 250	26 640	3 730	1 720	< 3	8 020
		FS	< 3	15 130	72 230	45 990	15 740	18 620	49 930	31 090	977 240	< 3	193 800	102 780	318 460

Tabela 3. Przestrzenne zmiany jakości osadów jeziora Wigry według kryteriów podanych przez Kavka (1987)[14] i Kohl (1975) [15] za Albinger (1992) [1].

Procent prób w klasie

Horizontal changes of bottom sediments quality of Wigry Lake using criteria given by Kavka (1987) [14] and Kohl (1975) [15] after Albinger (1992) [1].

Percent distribution of samples to the given class

Kryterium oceny jakości osadów dennych (Water quality criteria)		Jakość osadów dennych ³ (Bottom sediments quality levels)	1998 rok (year)										1999 rok (year)									
			Stanowiska (Sites)																			
Drobnoustroje (Microorganisms)	Liczba bakterii (Number of bacteria)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1-9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1-9
	< 500 000	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75,0	100	100	100	100	75,0	75,0	100	91,7
	> 500 000–1 000 000	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	25,0	0,0	8,3
	> 1 000 000–10 000 000	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TVC 20°C ¹	> 10 000 000–50 000 000	4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	>50 000 000–100 000 000	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	> 100 000 000– 750 000 000	6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	> 750 000 000	7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			(7) ⁴	(7)	(6)	(7)	(7)	(7)	(7)	(6)	(7)	(61)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(36)
	1 – 10	1	1,3	85,7	50,0	57,1	100	100	100	100	85,7	77,1	25,0	25,0	100	75,0	50,0	75,0	100	50,0	50,0	63,9
	> 10 – 100	2	71,4	14,3	33,3	42,9	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	19,7	50,0	75,0	0,0	25,0	50,0	25,0	0,0	50,0	50,0	33,3
	> 100 – 1 000	3	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8
FC ²	> 1 000 – 5 000	4	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	> 5 000 – 10 000	5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	> 10 000 – 100 000	6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	> 1 000 000	7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			(7)	(7)	(6)	(7)	(7)	(7)	(7)	(6)	(7)	(61)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(4)	(36)

¹ – ogólna liczba bakterii na agarze zwykłym w temp. 20°C po 72 godzinach inkubacji w 1 g świeżej masy osadów dennych, ² – liczba kałowych bakterii grupy coli – PL/1 g świeżej masy osadów dennych, ³ – stopień obciążenia substancją organiczną łatwo rozkładalną i substancją pochodzenia kałowego: 1 – bardzo mały, 2 – mały, 3 – umiarkowany, 4 – umiarkowanie wysoki, 5 – wysoki, 6 – bardzo wysoki, 7 – nadzwyczaj wysoki, ⁴ – w nawiasie liczba badanych prób

¹ – total viable count at 20°C – saprophytic bacteria as CFU/1g wet wt. sediments, ² – number of faecal coliforms – MPN/1g wet wt. sediments, ³ – degree of loading with organic substances which can be well decomposed by bacteria – TVC 20°C and degree of loading with faecal substances-FC: 1 – very little, 2 – little, 3 – moderate, 4 – moderate high, 5 – high, 6 – very high, 7 – extreme high, ⁴ – number of samples investigated

Tabela 4. Liczba zarodników *Clostridium perfringens* w osadach dennych jeziora Wigry w 1998 i 1999 r. Wartości średnie z 3 równoległych oznaczeń w 1 g suchej masy

Number of anaerobic spore-forming, sulphite reducing *Clostridium perfringens* in bottom sediments of Lake Wigry in 1998 and 1999 years. Mean of 3 simultaneous determinations in 1 g dry wt

Stanowisko (Sites)	Liczba badanych prób (Number of samples)	Liczba <i>Clostridium perfringens</i> (Number of <i>Clostridium perfringens</i>)													
		1998 rok (year)								1999 rok (year)					
		Miesiące (Months)								Średnia (mean)	Miesiące (Months)				Średnia (mean)
		V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	V-XI	IV	V	VI	XI	V-XI	
1	11	< 3	40	10 180	6 000	20 070	200	9 940	6 630	3 150	260	220	1 460	1 220	
2	11	< 3	2 120	7 310	160	40	150	190	1 420	1 690	60	180	700	660	
3	10	< 3	14	-	< 3	< 3	15	< 3	5	640	< 3	< 3	< 3	160	
4	11	< 3	< 3	600	60	15	50	45	110	350	< 3	15	30	100	
5	11	< 3	340	< 3	30	140	< 3	20	80	9 750	300	140	140	380	
6	11	< 3	140	40	< 3	< 3	< 3	10	30	310	< 3	< 3	< 3	80	
7	11	< 3	< 3	300	< 3	< 3	90	10	50	140	< 3	< 3	< 3	35	
8	10	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	-	50	10	370	< 3	80	30	120	
9	11	< 3	40	40	25	20	140	50	50	400	100	40	10	140	

w osadach dennych na stanowisku 1 przy ujściu rzeki Czarnej Hańczy do jeziora Wigry (Tab. 4). Były one około siedmiokrotnie wyższe aniżeli w osadach dennych rzeki Czarnej Hańczy na odcinku od ujścia kanału doprowadzającego odpływy z oczyszczalni ścieków w Suwałkach do ujścia tej rzeki do jeziora Wigry [18]. Duże liczebności bakterii grupy coli w osadach dennych na stanowiskach 1 i 2, zlokalizowanych w Zatoce Hańczańskiej, przy jednoczesnej obecności dużej liczby zarodników *Clostridium perfringens* świadczyć może o zanieczyszczeniu osadów dennych na tych stanowiskach zarówno aktualnym jak i odległym w czasie. Na stanowisku 2 występowało prawdopodobnie również zjawisko kumulacji zanieczyszczeń wnoszonych z wodami rzeki Czarnej Hańczy w tym rejonie jeziora Wigry. Stanowisko to usytuowane jest w najgłębszym miejscu północnej części jeziora Wigry naprzeciwko odpływu wód rzeki Czarnej Hańczy. Według Niewolaka [18] liczba zarodników *Clostridium perfringens* na odcinku od ujścia kanału doprowadzającego odpływy z oczyszczalni ścieków w Suwałkach do jej ujścia do jeziora Wigry wynosiła w wodzie < 3–950 NPL/100 cm³, w osadach dennych zaś < 3–250 NPL/1 g świeżej masy (lub < 3–2780 NPL/1 g suchej masy). Brak tych bakterii w wodzie rzeki Czarnej Hańczy na odpływie z jeziora Wigry, świadczyć może o „pozbywaniu się” przez rzekę zanieczyszczeń i towarzyszących im bakterii o znaczeniu sanitarnym w tym jeziorze. Wysokie liczebności zarodników *Clostridium perfringens* w osadach dennych na stanowisku 9 mogły być wynikiem przesiąkania z dołów asenizacyjnych zabudowań gospodarczych miejscowości Bryzgiel i Krusznik oraz spływów powierzchniowych z okolicznych pól uprawnych i łąk wypasanych bydłem, a także aktywności zwierząt dzikich.

WNIOSKI

1. Większe liczebności badanych bakterii wskaźnikowych stopnia zanieczyszczenia (w tym również *Clostridium perfringens*) oraz stanu sanitarnego stwierdzone w rejonie Płoso Północnego i Zatoki Hańczańskiej związane są z dopływem zanieczyszczonych wód rzek Czarnej Hańczy i Wiatrołuzi, w pobliżu miejscowości Bryzgiel i Krusznik zaś ze spływem zanieczyszczeń powierzchniowych i przeciekami z szamb z pobliskich miejscowości.
2. Osady denne jeziora Wigry charakteryzowały się bardzo małym lub małym obciążeniem substancją organiczną łatwo rozkładalną przez bakterie heterotroficzne oraz odchodami raczej zwierząt niż ludzi (stosunek liczbowy bakterii grupy coli typu kałowego do paciorkowców kałowych niższy od 0,7 w 56% badanych prób).
3. Muliste osady w centralnej części jeziora odznaczały się najczęściej wyższą liczebnością odpowiednich bakterii wskaźnikowych aniżeli piaszczyste osady strefy przybrzeżnej jeziora.

LITERATURA

- [1] Albinger O.: *Bacteriological investigation of water and sediment of the River Danube between streamkilometers, 16 and 1868 from March, 13rd – 17th*, Arch. Hydrobiol. Suppl., **84**, 115–130 (1992).
- [2] A.P.H.A. (American Public Health Association): *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18 Ed., Eds.: G.E. Greenberg, L.S. Clesceri, A.D. Eaton, Publ. Office American Public Health Association, Washington 1992, D.C. 9-1-9-147.
- [3] Bajkiewicz-Grabowska E.: *Sieć hydrograficzna, warunki odpływu i wymiany wód w jeziorach*, [w:] Jeziora Wigierskiego Parku Narodowego, Stan eutrofizacji i kierunki ochrony, Opracowanie zbiorowe

- pod redakcją B. Zdanowskiego, PAN. Komitet Naukowy przy Prezydium PAN, Człowiek i Środowisko, Zeszyty Naukowe 3. Zakł. Narod. im. Ossolińskich Wrocław-Warszawa-Kraków 1992, 21–34.
- [4] Bothner M.H., H. Takada, I.T. Knight, R.T. Hill, B. Butman, J.W. Farrington, R.R. Colwell, J.F. Grassle: *Sewage contamination in sediments beneath a deep-ocean dump site of New York*, Mar. Environ. Res., **38**, 43–59 (1994).
- [5] Burbianka M., A. Plińska: *Mikrobiologia żywności*, PZWL, Warszawa 1983.
- [6] Colwell R.R.: *Microbiological effects of ocean pollution*, Paper 23, International Conference of Environmental Protection of the North Sea, London, organized by the Wat. Res. Centre, 24–27 March 1987.
- [7] Davies C.M., J.A.H. Long, M. Donald, N.J. Ashbolt: *Survival of faecal microorganisms in marine and freshwater sediments*, Appl. Environ. Microbiol., **61**, 1888–1896 (1995).
- [8] Emerson D.J., V.J. Cabelli: *Use of bacteria Clostridium perfringens in marine sediments as a monitor of sewage particulate deposition and movement*, Wastes in the Ocean, **6**, 89–111 (1985).
- [9] Ferguson C.M., B.G. Coote, N.J. Ashbolt, I.M. Stevenson: *Relationship between indicators, pathogens and water quality in an estuarine system*, Wat. Res., **9**, 2045–2054 (1996).
- [10] Geldreich E.E.: *Water-Borne Pathogens*, Water Pollution Microbiology, John Wiley & Sons, New York 1972, 207–241.
- [11] Grimes D.J.: *Bacteriological water quality effects of hydraulically dredging contaminated Mississippi River bottom sediment*, Appl. Environ. Microbiol., **39**, 782–789 (1980).
- [12] Hill R.T., W.L. Straube, A.C. Palmisano, S.L. Gibson, R.R. Colwell: *Distribution of sewage indicated by Clostridium perfringens at a deep-water disposal site after cessation of sewage disposal*, Appl. Environ. Microbiol., **62**, 1741–1746 (1996).
- [13] Hill R.T., W.L. Straube, A.C. Palmisano, R.R. Colwell: *Benthic distribution of sewage sludge indicated by Clostridium perfringens at a deep-ocean dump site*, Appl. Environ. Microbiol., **59**, 47–51 (1993).
- [14] Kavka G.: *Die bakteriologische Wasserbeschaffenheit der österreichischen Donau*, Wasser und Abwasser, **31**, 305–311 (1987).
- [15] Kohl W.: *Über die Bedeutung bakteriologischen Untersuchungen für die Beurteilung von Fliessgewässern, dargestellt am Beispiel der österreichischen Donau*, Arch. Hydrobiol. Suppl., (Donauforschung), **44**, 392–461 (1975).
- [16] Korzeniewska E., S. Niewolak, A. Gotkowska-Plachta: *Ocena sanitarno-bakteriologiczna wód pelagialu i profundalu jeziora Wigry w latach 1997-1999*, Słupskie Prace Przyrodnicze, Pomorska Akademia Pedagogiczna, Słupsk, **1**, 61–74 (2001).
- [17] Niewolak S.: *Badania porównawcze nad przeżywalnością niektórych bakterii jelitowych w wodzie i osadach dennych jezior różnych typów*, Zesz. Nauk. ART Olsztyn, **10**, 71–83 (1980).
- [18] Niewolak S.: *The evaluation of the contamination degree and the sanitary and bacteriological state of the waters in the Czarna Hańcza River in the region of Suwałki and the Wigry National Park*, Polish Journal of Environmental Studies, **7**, 229–241 (1998).
- [19] Payment P., E. Franco: *Costridium perfringens and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts*, Appl. Environ. Microbiol., **59**, 2418–2424 (1993).
- [20] Polska Norma PN-75/C-04615/03. *Woda i Ścieki. Badania mikrobiologiczne, Oznaczenie liczby bakterii metodą płytkową*, Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości (1975).
- [21] Polska Norma PN-77/C-04615/07. *Woda i Ścieki. Badania mikrobiologiczne, Oznaczenie bakterii grupy coli typu kałowego fekalnego metodą fermentacyjną probówkową*, Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości (1977).
- [22] Stephenson G.R., R.C. Rychert: *Bottom sediment: a reservoir of Escherichia coli in rangeland streams*, J. Range Manage, **35**, 119–123 (1982).
- [23] Zdanowski B.: *Eutrofizacja jezior Wigierskiego Parku Narodowego: zagrożenie i ocena*, [w:] Funkcjonowanie i ochrona ekosystemów wodnych na obszarach chronionych, Opracowanie zbiorowe pod red. B. Zdanowskiego, M. Kamińskiego i A. Martyniaka, Wydawnictwo IRS, Olsztyn 1999, 261–288.