

Elena Neverova-Dziopak, Olena Dan

Klasyfikacja stanu przybrzeżnych wód morskich na Ukrainie na przykładzie Morza Azowskiego w rejonie Mariupola

Morze Azowskie, które należy do systemu Morza Śródziemnego, w południowej części łączy się z Morzem Czarnym przez cieśninę Kerczeńską. Jego średnia głębokość wynosi 7,4 m, a maksymalna osiąga 14,4 m [1]. Morze Azowskie charakteryzuje się małą zawartością soli, lecz jego zasolenie wykazuje tendencję rosnącą i wynosi obecnie około 1,3÷1,4%, co o 30% przekracza zasolenie zarejestrowane sto lat wcześniej [1–3]. Tendencja ta uwarunkowana jest przede wszystkim zmniejszeniem dopływu wody słodkiej na skutek budowy Cymlańskiego zbiornika zaporowego [4, 5], a także znaczącym oddziaływaniem antropogenicznym. Ze względu na niewielkie rozmiary, małą głębokość i objętość wody, a także biorąc pod uwagę fakt, że jest ono mocno eksploatowane i zanieczyszczane przez intensywnie rozwijający się przemysł, rolnictwo i inne gałęzie gospodarki narodowej krajów basenu Morza Azowskiego, istnieje ryzyko zaburzenia naturalnych właściwości abiotycznych i biotycznych, a także pogorszenia stanu jakości jego wód. Jednym z najbardziej spektakularnych negatywnych skutków jest zmniejszenie przezroczystości przybrzeżnych wód morskich w pobliżu Mariupola do około 0,5 m, w porównaniu z centralną częścią morza, gdzie przezroczystość wody wynosi około 8 m [3, 6, 7].

Najważniejszymi czynnikami negatywnie oddziałującymi na ekosystem morski są ścieki komunalne i przemysłowe, odpady z przemysłów metalurgicznego i chemicznego, zanieczyszczenia pochodzące z transportu morskiego (różnorodne produkty naftowe i olejowe), stosowanie środków chemicznych w rolnictwie, a także inwestycje budowlane w rejonach przybrzeżnych, budowa zbiorników zaporowych na Donie oraz trałowanie dna i nielegalne połowy ryb [8–12]. W strefie przybrzeżnej Morza Azowskiego, w obrębie Mariupola, najbardziej niebezpiecznym źródłem zanieczyszczeń jest huta „Azovstal” – wiodące przedsiębiorstwo przemysłowe nie tylko w skali miasta, ale także w skali Ukrainy. Ze względu na wyjątkowo duży udział tego zakładu w zanieczyszczaniu ściekami wód Morza Azowskiego, bardzo ważne wydaje się dokonanie oceny ich wpływu na stan morza, której wyniki mogą stanowić podstawę do ustalenia priorytetowych czynników ryzyka i opracowania koncepcji reorganizacji gospodarki ściekowej zakładu.

Celem niniejszej pracy była kompleksowa ocena wpływu ścieków odprowadzanych z huty „Azovstal” na stan

wód w strefie przybrzeżnej Morza Azowskiego na podstawie obowiązujących na Ukrainie norm i metod opartych na zintegrowanych wskaźnikach liczbowych.

Metoda oceny

Jednym z głównych problemów w zakresie badań stanu wód Morza Azowskiego jest niedostatecznie rozwinięty system monitoringu zarówno na poziomie państwowym, jak i lokalnym, który nie zapewnia systematycznych pomiarów wartości wskaźników jakości wody i stworzenia odpowiedniego banku danych. Morze Azowskie jest wykorzystywane do celów gospodarczych, rekreacyjnych, uprawiania sportów wodnych i rybołówstwa. Ustawodawstwo Ukrainy ustanowiło standardy jakości wód powierzchniowych w postaci maksymalnych dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń (MDS) wód słodkich i morskich w zależności od sposobu ich użytkowania. W odróżnieniu od krajów członkowskich Unii Europejskiej, standardy te zostały ustalone bez uwzględnienia typologii wód. W związku z tym standardy jakości wód morskich dotyczą zarówno Morza Czarnego, jak i Azowskiego i nie uwzględniają ich specyficznych właściwości hydrologicznych, morfologicznych, hydrobiologicznych oraz hydrochemicznych [13]. Zatem wartości MDS opracowane na potrzeby oceny stanu wody morskiej nie zawsze stanowią wiarygodną podstawę do oceny stanu Morza Azowskiego i jakości jego wód. Bardziej wiarygodna ocena jakości wody morskiej może być dokonana na podstawie zintegrowanych wskaźników z uwzględnieniem tak zwanej zasady sumowania zawartości najbardziej niebezpiecznych substancji. Do tych wskaźników należą wskaźnik jakości wody (WJW), wskaźnik zanieczyszczenia wody (WZW) oraz zintegrowany wskaźnik stanu ekologicznego (ZWSE) [13–22].

W aktach prawnych [13, 19] zawierających standardy jakości wód, wszystkie normowane wskaźniki zostały podzielone na cztery klasy pod względem rodzaju i stopnia oddziaływania na środowisko: I klasa – nadzwyczajnie niebezpieczne, II klasa – bardzo niebezpieczne, III klasa – niebezpieczne oraz IV klasa – umiarkowanie niebezpieczne. Podczas wprowadzania niebezpiecznych substancji I i II klasy do wód powierzchniowych, ustalenie ich dopuszczalnej zawartości w wodzie oparto na zasadzie sumowania stosunków ich rzeczywistej zawartości (C_n) do wartości dopuszczalnej (MDS_n) zgodnie z równaniem [19]:

$$\frac{C_1}{[MDS]_1} + \frac{C_2}{[MDS]_2} + \dots + \frac{C_n}{[MDS]_n} \leq 1 \quad (1)$$

Tabela 1. Punktacja i waga wskaźników stanu sanitarnego wody
Table 1. Weight and scoring of water sanitary status indicators

Wskaźnik, jednostka	Waga (γ)	Punkty (ω)				
		5	4	3	2	1
Wskaźnik coli, jtk/dm ³	0,18	0÷100	101÷1000	10 ³ ÷10 ⁵	10 ⁵ ÷10 ⁷	>10 ⁷
Zapach, punkty	0,13	0	1÷2	3	4	5
BZT ₅ , mgO ₂ /dm ³	0,12	<1	1,0÷2,0	2,1÷4,0	4,1÷10,0	>10
pH	0,10	(6,5÷8,0)	(6,0÷6,5) (8,0÷8,5)	(5,0÷6,0) (8,5÷9,5)	(4,0÷5,0) (9,5÷10)	<4,0 >10
Tlen rozpuszczony, mgO ₂ /dm ³	0,09	>8	6÷8	4÷6	2÷4	<2
Barwa, stopnie	0,09	<20	21÷30	31÷40	41÷50	>50
Zawiesiny ogólne, mg/dm ³	0,08	<10	10÷20	21÷50	51÷100	>100
Substancje rozpuszczone, mg/dm ³	0,08	<500	500÷1000	1001÷1500	1501÷2000	>2000
Chlorki, mgCl ⁻ /dm ³	0,07	<200	200÷350	351÷500	501÷700	>700
Siarczany, mgSO ₄ ²⁻ /dm ³	0,06	<200	250÷500	501÷700	701÷1000	>1000

Wskaźnik jakości wody (WJW)

Zgodnie z normą GOST 27065-86 „Jakość wód. Terminy i definicje” [20], do oceny stanu sanitarnego wody jest stosowany zintegrowany WJW, który pozwala na dokonanie jego kompleksowej oceny w zależności od sposobu korzystania z wód. Wartość tego wskaźnika jest obliczana ze wzoru:

$$[WJW] = \sum_{i=1}^p \gamma_i \omega_i \quad (\sum \gamma_i = 1) \quad (2)$$

w którym:

p – poszczególne wskaźniki zanieczyszczenia
 γ_i – waga wskaźnika zanieczyszczenia jako składnika WJW
 ω_i – punkty (od 1 do 5) przypisane do wskaźnika zanieczyszczenia

Wartości γ_i oraz ω_i przypisane poszczególnym wskaźnikom jakości wody zawiera tabela 1.

Ogólny stan sanitarny wody określa się na podstawie wartości wskaźnika WJW obliczonej z równania (2), natomiast klasyfikację sanitarnego stanu wody ustala się na podstawie wartości WJW zgodnie z tabelą 2.

Tabela 2. Klasyfikacja stanu sanitarnego wody na podstawie wartości WJW

Table 2. Classification of water sanitary status based on water quality index (WJW)

WJW	Klasa jakości wody	Stan sanitarny wody
≥5	1	bardzo czysta
4,1÷4,9	2	czysta
2,6÷4,0	3	umiarkowanie zanieczyszczona
1,6÷2,5	4	zanieczyszczona
≤1,5	5	silnie zanieczyszczona

Na podstawie tej klasyfikacji można ocenić również przydatność wody do różnych celów zgodnie z tabelą 3.

Tabela 3. Wpływ klasy jakości wody na jej przydatność do różnych celów gospodarczych
Table 3. Effect of water quality class on assessment of its suitability for various industrial purposes

Klasa jakości wody	Rodzaj użytkowania	
	do spożycia i w gospodarstwie domowym	rekreacja i sporty wodne
1	przydatna po dezynfekcji	przydatna
2	przydatna po dezynfekcji	przydatna
3	przydatna po standardowym uzdatnianiu	przydatna
4	przydatna tylko po specjalnym uzdatnianiu w przypadku technicznej i ekonomicznej opłacalności	korzystanie może być niebezpieczne
5	nieprzydatna	nieprzydatna

Wskaźnik zanieczyszczenia wody (WZW)

Wskaźnik zanieczyszczenia wody został opracowany przez Państwowy Komitet Hydrometeorologii ZSRR [16] i należy do kategorii wskaźników, na podstawie których można dokonać kompleksowej oceny stopnia zanieczyszczenia wody. Jest on często stosowany do oceny jakości wód jako narzędzie dodatkowe i określa średnią wartość przekroczenia MDS określonych wskaźników [21,22]. W przypadku wód morskich wartość WZW oblicza się zgodnie z formułą [22]:

$$[WZW] = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{4 [MDS]_i} \quad (3)$$

w której:

n – liczba wskaźników przyjętych do obliczeń, charakteryzujących się największymi wartościami ($n=4$)

C_i – zawartość i -tego zanieczyszczenia w wodzie, mg/dm^3

$[MDS]_i$ – dopuszczalna zawartość i -tego zanieczyszczenia, mg/dm^3

Na podstawie wartości WZW możliwe jest oznaczenie klasy jakości wody i stanu jej czystości zgodnie z tabelą 4.

Tabela 4. Klasyfikacja jakości wód na podstawie wartości WZW

Table 4. Water bodies classification according to water pollution index (WZW)

WZW	Klasa jakości wody	Stan czystości wody
<0,25	1	bardzo czysta
0,25÷0,75	2	czysta
0,75÷1,25	3	umiarkowanie czysta
1,25÷1,75	4	umiarkowanie zanieczyszczona
1,75÷3,00	5	zanieczyszczona
3÷5	6	silnie zanieczyszczona
>5	7	bardzo silnie zanieczyszczona

Zintegrowany wskaźnik stanu ekologicznego (ZWSE)

Kolejnym wskaźnikiem służącym do kompleksowej oceny stanu wód jest zintegrowany wskaźnik stanu ekologicznego (ZWSE) [22], który pozwala na uwzględnienie dużej liczby czynników wpływających na stan ekologiczny wód i jest obliczany z uwzględnieniem wartości wskaźników stanu sanitarnego (WJW) oraz stopnia zanieczyszczenia (WZW) ze wzoru:

$$[ZWSE] = \frac{1}{n_b} \sum_{i=1}^{n_b} b_i \quad (4)$$

w którym:

n_b – liczba wskaźników wybranych do obliczenia ZWSE

b_i – wagi (od 1 do 4) przypisane do każdego wskaźnika, w zależności od zakresu jego wartości (tab. 5)

Ogólną klasyfikację stanu ekologicznego wód, w zależności od wartości ZWSE, przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 5. Wartości składników równania (4)
Table 5. Values of the equation (4) components

Wskaźnik	Waga (b)			
	1	2	3	4
KNZ*	I	II	III	IV
MDS	<0,01	0,01÷0,1	0,11÷1	>1
WJW	<1,6	1,6÷2,5	2,6÷4,0	>4
WZW	>4,0	2,1÷4,0	1,0÷2,0	<1

*klasa niebezpieczeństwa zanieczyszczeń

Tabela 6. Klasyfikacja stanu wód na podstawie wartości ZWSE
Table 6. Water state classification according to the integrated ecological state index (ZWSE)

ZWSE	Klasa jakości wody	Stan ekologiczny
$\geq 3,0$	A	dobry stan ekologiczny
2,40÷2,99	B	napięta sytuacja ekologiczna
1,70÷2,39	C	kryzys ekologiczny
$\leq 1,69$	D	katastrofa ekologiczna

Charakterystyka gospodarki wodno-ściekowej huty „Azovstal”

Powierzchnia zajmowana przez hutę „Azovstal” w Mariupolu wynosi około 1112 ha, co stanowi ponad 7% całkowitej powierzchni miasta. Zakład ma rozwiniętą infrastrukturę techniczną, w tym własny port morski, specjalizujący się w załadunku i transporcie wielkowymiarowej stali płytowej, wyrobów metalowych, a także kruszywa z żużla. Podstawowym źródłem wody pobieranej przez hutę do celów technologicznych jest Morze Azowskie, przy czym woda morska jest zużywana głównie w procesach chłodzenia. Ścieki powstające w procesach technologicznych i zużyte wody chłodnicze są odprowadzane przez sześć wylotów (4–9) do strefy przybrzeżnej Morza Azowskiego oraz przez trzy wyloty (1–3) do rzeki Kalmius (rys. 1). Kategorię ścieków odprowadzanych z terenu huty i ich ilość przedstawiono w tabeli 7.



Rys. 1. Miejsca odprowadzania ścieków z huty „Azovstal” w Mariupolu oraz odpowiednie punkty pomiarowo-kontrolne
Fig. 1. Wastewater discharge points for the Azovstal Iron & Steel Works in Mariupol and the corresponding measurement points

Tabela 7. Charakterystyka ścieków odprowadzanych z huty „Azovstal” do Morza Azowskiego
Table 7. Characteristics of wastewater discharged into the Sea of Azov from the Azovstal Iron and Steel Works

Wylot ścieków	Rodzaj i źródło ścieków	Ilość ścieków, m^3/h
4	woda po chłodzeniu instalacji parowo-elektrycznej i powietrznej wydziału wielkopiecowego	9353
5	woda po chłodzeniu urządzeń ciepłno-energetycznych stacji parowej i elektrociepłowni	5761
6	woda po chłodzeniu urządzeń grzewczych i energetycznych elektrociepłowni	6392
7	woda z elektrociepłowni	9838
8	woda z elektrociepłowni	1074
9	ścieki technologiczne z wydziałów wielkopiecowego, gazowego, walcowania, szynowego i sortowni	16059

Ścieki chłodnicze odprowadzane są do Morza Azowskiego przez wyloty 4–8, natomiast ścieki technologiczne przez wylot 9, przy czym ilość ścieków technologicznych odprowadzanych do morza przez ten wylot stanowi około 30% całkowitej ilości ścieków odprowadzanych z huty do Morza Azowskiego.

Wpływ ścieków odprowadzanych z huty „Azovstal” na stan Morza Azowskiego

Monitoring jakości wody morskiej w strefie odprowadzania ścieków przez hutę jest realizowany w sześciu punktach pomiarowo-kontrolnych (4–9) rozmieszczonych na odległości 250 m od miejsca ich wprowadzania. Oceny wpływu ścieków na wody przybrzeżne w tej strefie dokonano na podstawie wartości 20 wskaźników jakości wody i ścieków w odpowiednich punktach pomiarowo-kontrolnych wykorzystując dane z 2016 r. W punktach pomiarowo-kontrolnych 5–7 ocenę przeprowadzono na podstawie uśrednionych wartości wskaźników zanieczyszczeń ze względu na taki sam skład ścieków chłodniczych odprowadzanych przez zlokalizowane obok siebie wyloty 5–7.

Wyniki oceny zgodności zawartości zanieczyszczeń w badanych punktach pomiarowo-kontrolnych z wartościami dopuszczalnymi (MDS) [13, 19] przedstawiono w tabeli 8. Obliczone wartości stosunku rzeczywistej zawartości zanieczyszczeń do MDS wykazały znaczne przekroczenie wartości dopuszczalnych w wodzie morskiej po wprowadzeniu do nich ścieków, przede wszystkim w zakresie produktów naftowych, żelaza ogólnego, azotu amonowego i azotynów, przy czym największe przekroczenia wartości MDS stwierdzono w punkcie pomiarowo-kontrolnym 9 w strefie odprowadzania ścieków technologicznych.

Tabela 8. Przekroczenia dopuszczalnej zawartości wybranych zanieczyszczeń wody w punktach pomiarowo-kontrolnych 4–9 [13, 19]

Table 8. Deviations from permissible concentrations of selected water contaminants at measurement points 4–9 [13, 19]

MDS, jednostka	Stosunek [PPK]*/[MDS] w punktach pomiarowo-kontrolnych			
	4	5–7	8	9
Produkty naftowe, mg/dm ³	4,00	3,40	2,80	4,40
Żelazo ogólne, mgFe/dm ³	3,78	3,76	3,80	5,12
Azot amonowy, mgNH ₄ ⁺ /dm ³	1,74	1,44	1,75	1,86
Azotyny, mgNO ₂ ⁻ /dm ³	2,09	2,01	0,94	2,55

*zawartość zanieczyszczeń w punktach pomiarowo-kontrolnych

Tabela 10. Wartości WJW w punktach pomiarowo-kontrolnych w strefie odprowadzania ścieków do Morza Azowskiego
Table 10. Values of water quality index (WJW) at measurement points in wastewater discharge zone to the Sea of Azov

Wskaźnik, jednostka	[PPK] ₄	[PPK] ₈	[PPK] ₅₋₇	[PPK] ₉	γ	ω	γ·ω			
							PPK ₄	PPK ₈	PPK ₅₋₇	PPK ₉
BZT ₅ , mgO ₂ /dm ³	2,31	2,22	2,18	2,33	0,12	3	0,36	0,36	0,36	0,36
pH	7,96	7,95	7,92	7,88	0,10	5	0,50	0,50	0,50	0,50
Zawiesiny ogólne, mg/dm ³	22,0	24,5	23,0	28,1	0,08	3	0,24	0,24	0,24	0,24
Związki mineralne, mg/dm ³	8488	7989	8024	8186	0,08	1	0,08	0,08	0,08	0,08
Chlorki, mgCl ⁻ /dm ³	4685	4798	4636	4588	0,07	1	0,07	0,07	0,07	0,07
Siarczany, mgSO ₄ ²⁻ /dm ³	962,1	956,5	964,9	963,7	0,06	2	0,12	0,12	0,12	0,12
WJW							1,37	1,37	1,37	1,37

W następnej kolejności dokonano oceny zgodności sumarycznej zawartości zanieczyszczeń II klasy niebezpieczeństwa w Morzu Azowskim (azotynów, kobaltu i ołowiu), ponieważ zanieczyszczeń I klasy w wodzie morskiej nie wykryto. Wyniki tej oceny przedstawiono w tabeli 9. Warunek zasady sumowania (1) został spełniony tylko w punkcie pomiarowo-kontrolnym 8 (0,96 < 1), natomiast maksymalne przekroczenie (2,9 > 1) zaobserwowano w punkcie pomiarowo-kontrolnym 9 (miejsce wprowadzania ścieków technologicznych).

Tabela 9. Jakość wód Morza Azowskiego w punktach pomiarowo-kontrolnych 4–9 z uwzględnieniem zasady sumowania

Table 9. Quality of water from the Sea of Azov at measurement points 4–9 with regard to the principle of aggregation

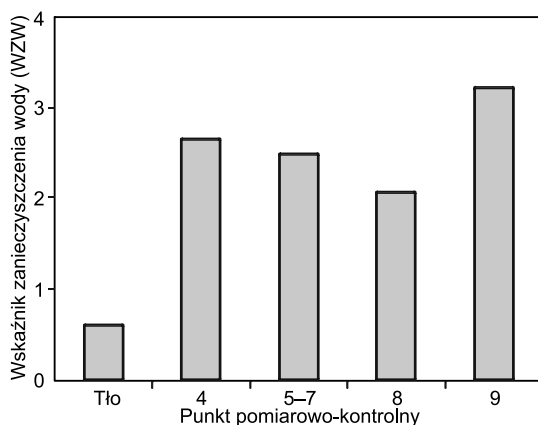
Jakość wody	Wskaźnik, jednostka			Σ([PPK]/[MDS])
	azotyny, gNO ₂ ⁻ /m ³	kobalt, gCo/m ³	olów, gPb/m ³	
[MDS]	0,080	0,1300	0,03	
[PPK] ₄	0,167	0,0029	0,00	2,11
[PPK] ₄ /[MDS]	2,090	0,0200	0,00	
[PPK] ₅₋₇	0,161	0,0028	0,00	2,03
[PPK] ₅₋₇ /[MDS]	2,010	0,0200	0,00	
[PPK] ₈	0,075	0,0028	0,00	0,96
[PPK] ₈ /[MDS]	0,940	0,0200	0,00	
[PPK] ₉	0,204	0,0027	0,01	2,90
[PPK] ₉ /[MDS]	2,550	0,0200	0,33	

Stan sanitarny wód morskich został oceniony na podstawie obliczonych wartości WJW w punktach pomiarowo-kontrolnych 4, 5–7, 8 i 9, z uwzględnieniem zawartości zawieszin, całkowitej zawartości związków mineralnych, chlorków, siarczanów, a także BZT₅ i pH. Wyniki tej oceny przedstawiono w tabeli 10. Wskaźnik WJW w każdym z badanych punktów pomiarowo-kontrolnych osiągnął analogiczną wartość równą 1,37, na podstawie której została określona klasa czystości wody w tych punktach. Zgodnie z tabelami 2 i 3, wartość WJW wynosząca 1,37 odpowiada klasie 5 jakości wody, która jest określana jako „silnie zanieczyszczona” i nie nadaje się do celów komunalnych ani uprawiania sportów wodnych.

Tabela 11. Wartości WZW w punktach pomiarowo-kontrolnych 4–9
Table 11. Values of water pollution index (WZW) at measurement points 4–9

Wskaźnik, jednostka	[MDS]	[PPK] ₄	[PPK] ₄ /[MDS]	[PPK] ₅₋₇	[PPK] ₅₋₇ /[MDS]	[PPK] ₈	[PPK] ₈ /[MDS]	[PPK] ₉	[PPK] ₉ /[MDS]
BZT ₅ , mgO ₂ /dm ³	3,000	2,310	0,77	2,220	0,74	2,180	0,73	2,330	0,78
Żelazo ogólne, mgFe/dm ³	0,050	0,189	3,78	0,188	3,76	0,190	3,80	0,256	5,12
Azotyny, mgNO ₂ ⁻ /dm ³	0,080	0,167	2,09	0,161	2,02	0,075	0,94	0,204	2,55
Produkty naftowe, mg/dm ³	0,050	0,200	4,00	0,170	3,40	0,140	2,80	0,220	4,40
WZW		2,66		2,48		2,07		3,21	

Następnie w punktach pomiarowo-kontrolnych 4–9, zgodnie ze wzorem (3), obliczono wartości WZW, które określono z uwzględnieniem czterech podstawowych wskaźników (BZT₅, żelazo, azotyny i produkty naftowe) mających największy wpływ na ekosystem morski. Obliczone wartości zestawiono w tabeli 11. Klasa jakości wód została ustalona z uwzględnieniem wartości WZW opracowanych na potrzeby klasyfikacji wód morskich (tab. 4) [22], a jej graficzną interpretację przedstawiono na rysunku 2 na tle wartości WZW w części morza otwartego, która została scharakteryzowana jako „czysta” [23–25]. Akwen morski w punktach pomiarowo-kontrolnych nr 4–8, znajdujących w strefie odprowadzania ścieków chłodniczych, scharakteryzowano jako „zanieczyszczony”, natomiast wodę w punkcie 9, w strefie odprowadzania ścieków technologicznych, jako „silnie zanieczyszczoną”. Przeprowadzona ocena jakości wody w Morzu Azowskim w oparciu o wartości WZW w strefie odprowadzania ścieków z huty „Azovstal” pozwala stwierdzić, że zakład ten ma znaczący negatywny wpływ na strefę przybrzeżną morza, która w porównaniu z tłem (otwarte morze) charakteryzuje się znacznie wyższym poziomem zanieczyszczenia, zwłaszcza w pobliżu wylotu ścieków 9.



Rys. 2. Jakość wód w obszarze odprowadzania ścieków do strefy przybrzeżnej Morza Azowskiego

Fig. 2. Water quality in the area of wastewater discharge to the Sea of Azov coastal zone

W celu oceny stanu ekologicznego wód Morza Azowskiego w strefie odprowadzania ścieków z huty „Azovstal” obliczono wartości ZWSE w badanych punktach pomiarowo-kontrolnych. W obliczeniach wykorzystano punktację wartości MDS i klas zagrożenia substancjami toksycznymi podaną w tabeli 12, natomiast obliczone wartości ZWSE w punktach 4–9 przedstawiono w tabeli 13.

We wszystkich badanych punktach pomiarowo-kontrolnych wartość ZWSE wyniosła 2,5, co odpowiada trzeciej klasie jakości wody i charakteryzuje stan ekologiczny określony jako „napięta sytuacja ekologiczna” (tab. 6).

Tabela 12. Ocena punktowa MDS i klasy zagrożenia substancjami toksycznymi

Table 12. Assessment of maximum permissible concentrations and toxicity hazard classes

Wskaźnik	[MDS], mg/dm ³	Punkty (b)	Klasa zagrożenia	Punkty (b)
Cu(II)	1,0	3	3	3
Fe(II)	0,3	3	3	3
Mn(II)	0,1	2	3	3
Ni(II)	0,1	2	3	3
Zn(II)	1,0	3	3	3
Pb(II)	0,3	3	2	2
Co(II)	0,1	2	2	2
NO ₂ ⁻	0,08	2	2	2
Średnia		2,5		2,6

Tabela 13. Wartości ZWSE w punktach pomiarowo-kontrolnych 4–9

Table 13. The integrated ecological state index (ZWSE) values at measurement points 4–9

Wskaźnik	Punkt pomiarowo-kontrolny			
	4	5–7	8	9
MDS, mg/dm ³	4	4	4	4
Klasa zagrożenia	3	3	3	3
WJW	1	1	1	1
WZW	2	2	2	2
ZWSE	2,5	2,5	2,5	2,5

Podsumowanie

Wyniki oceny stanu sanitarnego wody, stopnia jej zanieczyszczenia i stanu ekologicznego strefy przybrzeżnej morza Azowskiego będącej odbiornikiem ścieków odprowadzanych z huty „Azovstal” (największego przedsiębiorstwa metalurgicznego Ukrainy) wskazują, że wody tej strefy charakteryzują się złym stanem sanitarnym, wysokim stopniem zanieczyszczenia i napiętą sytuacją ekologiczną. Kompleksowa ocena oparta na zintegrowanych wskaźnikach WJW, WZW i ZWSE, a także analiza jakości wody w strefie przybrzeżnej Morza Azowskiego w oparciu o ustalone standardy jakości wody morskiej z uwzględnieniem zasady sumowania zanieczyszczeń II klasy wykazała, że huta „Azovstal” ma bardzo negatywny wpływ na stan ekologiczny i jakość wody w strefie odprowadzania ścieków technologicznych i wymaga natychmiastowych działań w zakresie reorganizacji gospodarki ściekowej, w celu zmniejszenia jej negatywnego oddziaływania na strefę przybrzeżną Morza Azowskiego i zapobieżenia jego dalszej degradacji.

LITERATURA

1. V. V. FOMIN, A. A. POLOZOK, I. N. FOMINA: Simulation of the Azov Sea water circulation subject to the river discharge. *Physical Oceanography* 2015, No. 1, pp. 15–26.
2. O. A. DIRIPASKO, N. G. BOGUTSKAYA, K. V. DEM'YANENKO, L. V. IZERGIN: Sea of Azov: A brief review of the environment and fishery. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 2015, Vol. 18, No. 2, pp. 184–194.
3. A. K. VINOGRADOV, Y. I. BOGATOVA, I. A. SYNEGUB: Ecology of Marine Ports of the Black and Azov Sea Basin. Springer International Publishing, Cham 2017.
4. N. M. NOVIKOVA, N. A. VOLKOVA, O. G. NAZARENKO: The methodology for studying and assessing the impact of reservoirs on natural shore complexes. *Arid Ecosystems* 2015, Vol. 5, No. 4, pp. 268–276.
5. A. AUDZIJONYTE, L. BALTRUNAITE, R. VAINOLA, K. ARBACIAUSKAS: Migration and isolation during the turbulent Ponto-Caspian Pleistocene create high diversity in the crustacean *Paramysis lacustris*. *Molecular Ecology* 2015, No. 24, pp. 4537–4555.
6. A. N. KOSAREV, A. G. KOSTIANOY, T. A. SHIGANOVA: The Sea of Azov. *The Handbook of Environmental Chemistry* 2008, Vol. 5, part Q, pp. 63–89.
7. L. GAGUT: Strategy of ecological and economical renovation of Priazovye. *Green Cross* 1998, No. 2, pp. 42–43.
8. V. COLLA, I. MATINO, T. A. BRANCA, B. FORNAI, L. ROMANIELLO, F. ROSITO: Efficient use of water resources in the steel industry. *Water* 2017, Vol. 9, No. 11, 874.
9. N. NAZAROV, H. F. COOK, G. WOODGATE: Water pollution in Ukraine: The search for possible solutions. *International Journal of Water Resources Development* 2004, Vol. 20, No. 2, pp. 205–218.
10. V. BARANNIK: The Problems of Environmental Protection, Collection of Scientific Works of USCPW. Ukrainian Scientific Centre for Protection of Water, Kharkov 1996.
11. I. V. BUTORINA, M. V. BUTORINA: An overview of environmental and management problems in Mariupol, Ukraine. *Environmental Management and Health* 2001, Vol. 12, No. 1, pp. 88–99.
12. R. P. POVILEIKO: Ecology and Economics (A Survey of Ideas and the Literature). *Problems in Economics* 1983, Vol. 26, No. 5, pp. 3–14.
13. Pro zatverdzhennya pravil ohoroni vnutrishnih morskikh vod i teritorialnogo morya vid zabrudnennya ta zasmichennya. Kabinet Ministriv Ukrainy, Kiev 1996.
14. RD 52.24.643-2002: Metod kompleksnoy otsenki stepeni zagryaznennosti poverhnostnykh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam. Gidrohimicheskii Institut Federalnoy Sluzhbyi Rossii po Gidrometeorologii i Monitoringu Okruzhayushey Sredy, Moskva 2004.
15. SANPIN 2.1.5.980-00: Gigienicheskie trebovaniya k ohrane poverhnostnykh vod. Rossiyskaya Federatsiya, Moskva 2000.
16. Vremennyye metodicheskie ukazaniya po kompleksnoy otsenke kachestva poverhnostnykh i morskikh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam. Goskomgidromet SSSR, Moskva 1986.
17. V. K. SHITIKOV, G. S. ROZENBERG, T. D. ZINCHENKO: Kolichestvennaya gidroekologiya: Metody, kriterii, resheniya. Kniga 1. Nauka, Moskva 2005.
18. E. I. HABAROVA, I. A. RODZIN, S. V. NIKITINA, S. V. LEONTIEVA: Raschet i otsenka ekologo-znachimyykh parametrov. MITHT, Moskva 2010.
19. SANPIN 4630-88: Sanitarnie pravila i normi ohoroni poverhnevih vod vid zabrudnennya. Kiev 1991.
20. GOST 27065-86: Kachestvo vod. Terminy i opredeleniya. Ministerstvo Melioratsii i Vodnogo Hozyaystva SSSR, Moskva 1987.
21. A. MILANOVIC, D. MILJASEVIC, J. BRANKOV: Assessment of polluting effects and surface water quality using water pollution index: A case study of hydro-system Danube-Tisa-Danube, Serbia. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 2011, Vol. 6, No. 2, pp. 269–277.
22. N. V. GLOTOVA: Monitoring sredy obitaniya. Izdatelstvo Chelyabinsk, Chelyabinsk 2006.
23. L. I. RYABUSHKO, A. V. BONDARENKO: The qualitative and quantitative characteristics of the benthic diatoms near Kazantip Cape of the Sea of Azov. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment* 2016, Vol. 22, No. 3, pp. 237–249.
24. A. E. KAPUSTIN: Zagryaznenie vod Priazovya – problemy i resheniya. Voda dlya Mariupolya: Materialy i raboty kruglogo stola „Problemy obespecheniya g. Mariupolya kachestvennoy vodoy i vozmozhnyie puti ih reshenij” 2016, pp. 15–19.
25. O. DAN, E. NEVEROVA-DZIOPAK, E. BUTENKO, A. KAPUSTIN: Analysis of Mariupol metallurgical enterprises influence on ecological state of surface waters. *Geomatics and Environmental Engineering* 2017, Vol. 11, No. 1, pp. 25–31.

Neverova-Dziopak, E., Dan, O. Classification of the State of Marine Coastal Waters in Ukraine in the Example of the Sea of Azov in the Mariupol Region. *Ochrona Srodowiska* 2018, Vol. 40, No. 3, pp. 29–34.

Abstract: The Sea of Azov is the smallest and shallowest sea in the world with low salinity. Such properties determine its susceptibility to degradation due to anthropogenic activities. The Azovstal Iron & Steel Works in Mariupol (Ukraine) is one of the main sources of pollution of the Azov Sea. Adverse impact of the steelworks is associated primarily with the large amount of technological and cooling wastewater discharged into the sea. The paper presents the impact assessment results of wastewater discharge on the sea water quality and the ecological conditions in the discharge zone. The assessment was performed using local Ukrainian methodologies as well as

applicable surface water quality standards. The comprehensive assessment was based on the three numerical integrated indicators of sea water quality: the Water Quality Index (WJW), the Water Pollution Index (WZW), the Integrated Ecological State Index (ZWSE), and the so called principle of aggregation. Based on the assessment results it was demonstrated that the wastewater discharge from the Azovstal Iron & Steel Works leads to significant increase in water pollution in the coastal zone which brings threat to the marine ecosystem and limits all types of water consumption.

Keywords: The Sea of Azov, steelworks, cooling wastewater, technological wastewater, water state assessment, environmental impact assessment, Water Quality Index (WJW), Water Pollution Index (WZW), Integrated Ecological State Index (ZWSE).