

HIDROGRAFSKA SVOJSTVA MORA U ESTUARU RIJEKA BOJANE I NERETVE S POSEBNIM OSVRTOM NA TEŠKE METALE

Ilija VUKADIN i Bojana UROŠEVIĆ
Institut za oceanografiju i ribarstvo — Split

I z v o d

Ispitivane su vrijednosti hranjivih soli ($\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ i $\text{SiO}_2\text{-Si}$) i teških metala (Hg, Cu, Cd, As, Sb, Zn, Co, Fe i Mn) u uzorcima vode, sedimenata i morskih organizama sakupljenih u estuarima rijeka Bojane i Neretve, te upoređivani s vrijednostima za otvoreno more (Stončica — Vis).

Dobiveni rezultati pokazuju da su estuarna područja mnogo bogatija sadržajem teških metala od onih u vodama otvorenog mora Jadrana. Stoga se preporuča stalna i intenzivnija istraživanja pojedinih estuara na istočnoj obali Jadrana, da bi se uočio i bolje razumio utjecaj kopnenih faktora na kemijska svojstva mora.

A b s t r a c t

HYDROGRAPHIC PROPERTIES OF RIVER BOJANA AND NERETVA ESTUARIES WITH PARTICULAR REFERENCES TO HEAVY METALS

Water, sediment and fish (*Mullus barbatus*) were sampled in the estuaries of River Bojana and Neretva. (Southern part of the Adriatic coast). Nutrients and heavy metals were analysed for Hg, Cu, Cd, As, Sb, Zn, Co, Fe, Mn and P by NAA. The levels of Hg, Fe, Zn and Cu recorded from the estuaries were higher than the values found at an open sea station (Stončica) and in the literature on trace metal concentrations in other parts of the Mediterranean. It is recommended to continue the monitoring of heavy metals concentrations to improve our understanding of their cycling in the estuarine environment.

UVOD

Rijeke južnojadranskog sliva, Bojana i Neretva donose znatne količine slatke vode u more (Bojana 280 m³/sek, Neretva 355 m³/sek). Fizikalno-kemijskim procesima u estuarinim područjima tek u posljednjih desetak godina posvećuje se posebna pažnja i interes.

S kemijskog stajališta estuar se može jednostavno definirati kao područje u kojem se mora stalno razređuje slatkom vodom, dotocima s kopna. Mješanjem slatke i slane vode dolazi do povećanja ionske jakosti nastale otopine, što dovodi do povišene flokulacije suspendiranog materijala donešenog rijekama, a shodno tome dolazi do intenzivnije sedimentacije i akumulacije suspendiranog materijala u određenoj zoni estuara. Ta intenzivna sedimentacija posebno je dobro izražena u pojavi brzog prenosa organskog C, N₂, P kao i teških metala, s kopna u more te njihovom brzom uklanjanju iz otopine u sediment.

MATERIJAL I METODIKA

Uzorci vode, sedimenata i morskih organizama sakupljeni su na krstarenjima m/b »Bios« u srpnju 1979. Uzorci sedimenata uzeti su van Veen sondom s plastičnim korerom (50 cm dugim, dijametra 28 mm, te podijeljeni u segmente po 5 mm i spremljeni za analize. Hidrografski parametri kao i hranjive soli određivani su standardnim oceanografskim metodama pomoću Auto Analyzera).

Analize teških metala u uzorcima sedimenata i organizama načinjene su NAA u Institutu »J. Štefan« u Ljubljani.

REZULTATI I DISKUSIJA

U priloženim tablicama 1 i 2 dati su rezultati osnovnih hidrografskih parametara, hranjivih soli i teških metala u istraživanom području, te jedne referentne postaje otvorenog mora (Stončica — Vis). Osnovni hidrografski parametri (T°C, Sal ‰, σ_t , O₂ i pH) ukazuje da je istraživano područje pod utjecajem kopnenih faktora. To se posebno očituje u površinskom sloju mora. Rezultati ispitivanja hranjivih soli u estuarima ne odstupaju znatnije od onih za otvoreno more.

Znamo da su NO₃-N glavna otopljena forma N₂-soli i koji uglavnom dolaze u more dotocima slatke vode s kopna. Dosta niske

Tablica 1. Hidrografski parametri i hranjive soli ($\mu\text{mol/l}$) na istraživanom području
 Table 1. Hydrographic parameters and nutrients ($\mu\text{mol/l}$) in the study area

	Tem °C	Cl‰	Sal‰	ot	O ₂ ml/l	O ₂ ‰	pH	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	N-tot	SiO ₂ -Si
					Bojana — Ulcinj							
0	21,72	20,15	36,40	25,38	5,36	95,90	8,19	0,077	1,22	1,48	2,78	10,04
5	18,60	21,33	38,52	27,84	5,80	92,24	8,15	0,071	0,77	1,86	2,70	7,70
10	17,50	21,39	38,63	28,20	5,93	91,91	8,14	0,077	0,65	1,29	2,02	7,70
18	16,70	21,51	38,85	28,56	5,84	94,52	8,17	0,185	0,58	1,24	2,01	7,70
x	18,63	21,10	38,10	27,50	5,73	93,64	8,16	0,103	0,81	1,47	2,38	8,29
					Neretva — Kardeljevo							
0	22,00	18,64	33,67	23,23	6,43	81,03	8,24	0,047	0,47	1,15	1,67	9,10
10	21,64	20,42	36,88	25,77	5,61	91,62	8,22	0,062	0,81	0,72	1,59	3,42
18	17,96	20,87	37,70	27,36	5,75	94,61	8,19	0,059	1,24	0,63	1,93	6,32
x	20,53	19,98	36,08	25,45	5,93	89,09	8,22	0,056	0,84	0,83	1,73	6,28
					Stončica — Vis							
0	22,73	20,94	37,82	26,16	5,75	89,77	8,22	0,047	0,77	0,92	1,74	3,18
50	15,58	21,45	38,74	28,74	6,03	93,37	8,16	0,071	0,91	1,00	1,98	4,57
100	14,80	21,48	38,80	28,96	5,18	110,04	8,13	0,077	1,22	2,60	3,90	3,42
x	17,70	21,29	38,45	27,95	5,59	97,73	8,17	0,065	0,97	1,51	2,54	3,72

Tablica 2. Teški metali u sedimentima mg/kg suhe težine (Fe u ‰)

Table 2. Heavy metals in the sediments mg/kg DW (Fe u ‰)

Sloj (cm)	Hg	Cd	As	Sb	Cu	Zn	Co	Fe	Mn	P
Bojana — Ulcinj										
0-5	0,20	0,16	17,6	0,32	24,2	62,0	27,0	1,43	970	2250
5-10	1,99	0,12	19,3	0,27	38,0	75,0	31,0	1,84	1000	720
10-15	0,68	0,19	21,0	0,39	37,5	77,0	30,0	1,28	1040	4000
15-20	0,92	0,14	23,7	0,34	38,5	64,0	29,2	1,39	1060	1930
Neretva — Kardeljevo										
0-5	1,86	0,09	16,2	0,59	27,6	94,8	8,56	2,00	590	1100
5-10	0,18	0,11	19,5	0,61	27,2	80,7	6,32	2,15	570	1260
10-15	—	0,30	25,2	0,73	15,1	98,8	4,19	1,91	600	970
15-20	0,45	0,28	32,5	0,81	33,8	58,1	6,87	1,92	615	760

Stončica — Vis

0-5	0,02	0,10	13,9	0,17	8,6	29,0	5,1	0,10	840	7500
5-10	0,10	0,14	22,0	0,24	8,2	24,0	9,5	0,64	640	6500
10-15	0,03	0,13	9,0	0,22	8,3	30,0	9,6	0,74	620	1140
15-20	0,04	0,12	8,7	0,22	9,7	35,0	10,7	0,62	610	8700

Tablica 3. Sadržaj teških metala u morskim organizmima (*Mullus barbatus*) (u µg/g, Sb u ng/g svježe težine)

Table 3. Heavy metal levels in marine organisms (*Mullus barbatus*) (in µg/g, Sb in ng/g FW)

M. barbatus	Hg	Se	Zn	Cu	As	Mn	Sb
Bojana	0,22-1,02	0,45-0,71	5,13-7,75	0,41-4,94	3,26-62,6	0,31-0,54	1,1-27,1
Neretva	0,49-1,49	0,26-0,37	3,52-5,45	0,24-0,49	8,4 -13,4	0,14-0,17	1,9- 2,7
Stončica (Vis)	0,15-0,67	0,34-0,70	4,46-6,94	0,43-0,75	8,1 -10,6	0,16-0,31	1,8- 3,2

vrijednosti nitrata, nitrita i amonijaka, tj. svih otopljenih oblika N_2 -soli u estuaru uvjetovan je brзом precipitacijom nitrata (NO_3-N) u sediment. Fizikalni procesi miješanja su vjerovatno dominantan proces koji utječe na njihovu koncentraciju. Tekstura dana na istraživanom području pokazala je da su sedimenti izrazito glinaste konzistencije (D. Meischner, 1976), a takav tip sedimenta ima veliku moć apsorpcije ovih soli iz vodenog stupca.

Dosta niske vrijednosti NH_3-N soli u estuaru području dalo bi se protumačiti znatnom biološkom produktivnošću estuaru područja, odnosno na brzu potrošnju amonijaka koji je najaktivnija forma N_2 -soli u moru. Osim toga u ovakvim područjima nalaze se znatne količine estuaru flagelata koji koriste uglavnom NH_3-N kao izvor hrane, pa su oni vjerovatan uzrok dosta niskih vrijednosti amonijaka.

Rezultati istraživanja silikata ukazuju na tipičan primjer donosa tih soli slatkim vodama. Vrijednosti SiO_2-Si su dva puta više od onih vrijednosti za otvoreno more, i maksimalne vrijednosti nalazimo u površinskom sloju mora.

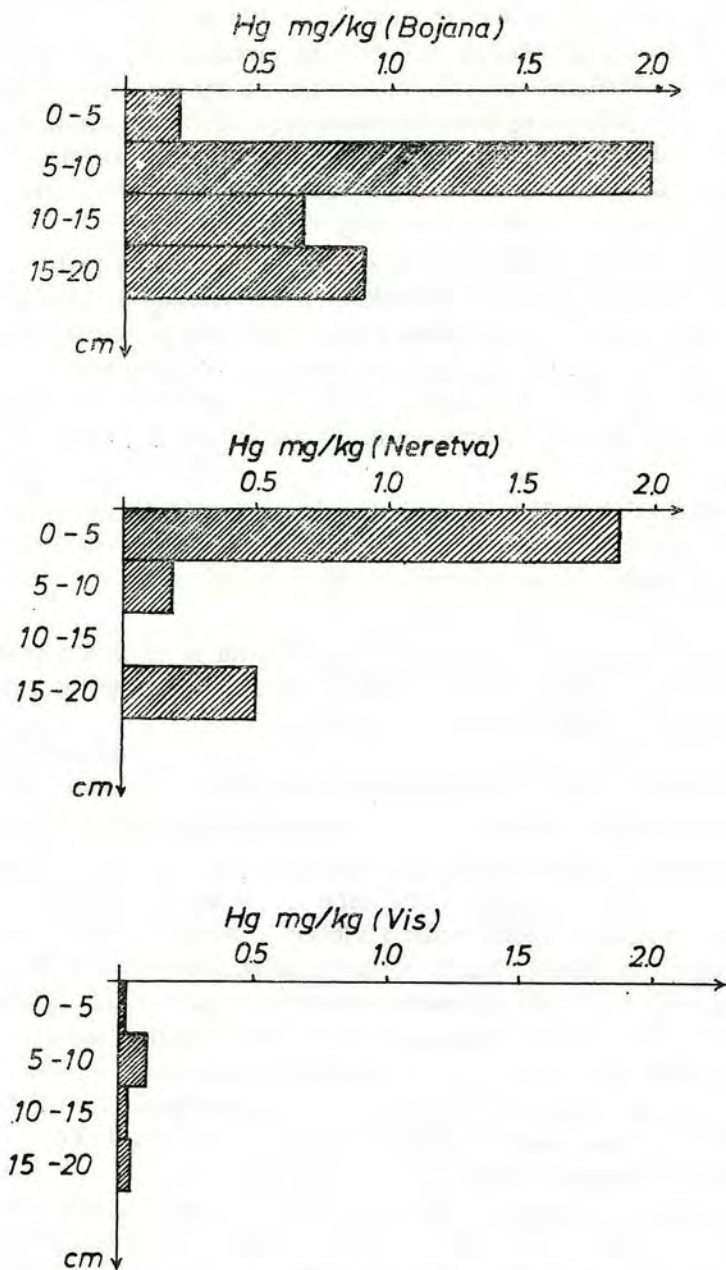
Posebna pažnja u ovom radu posvećena je teškim metalima u sedimentima na ušću rijeka Bojane i Neretve, te referentne postaje u otvorenom moru (Stončica — Vis).

Iz prikazane tab. 2 te sl. 1, 2, 3 i 4 gdje su prikazane vertikalne distribucije nekih teških metala, očito je da su koncentracije Hg, Zn, Cu, Fe znatno više od oni u sedimentima otvorenog mora.

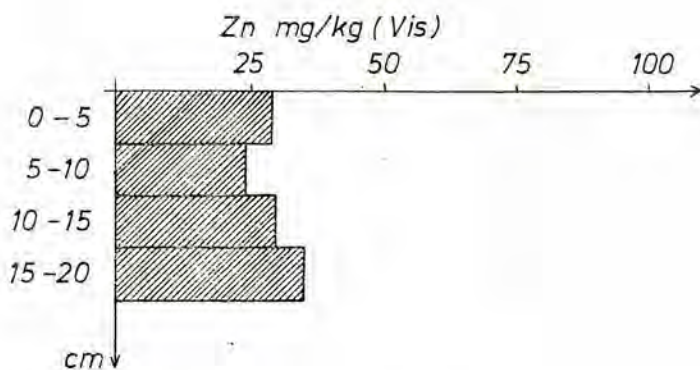
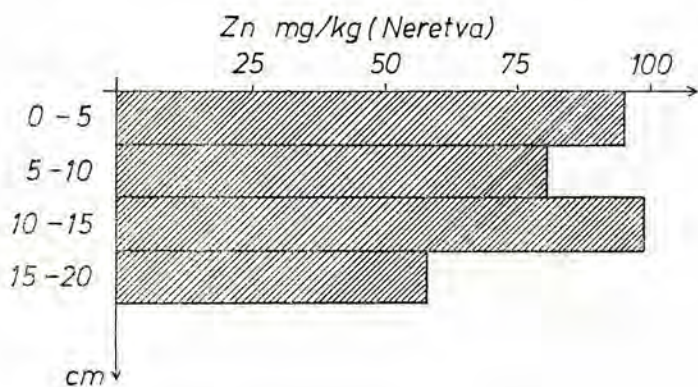
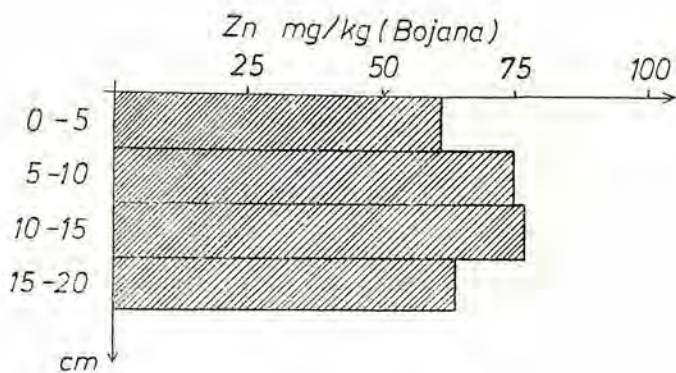
Mnogi su teški metali kao npr.: Cr, Fe, Mn, Cu, Ni i Zn po prirodi sastavni dio sedimenata kako u tlu tako i u moru. Znatno povišena vrijednost nekih teških metala kao npr.: Hg, Cr, Cu i Zn u sedimentima južnojadranskih područja D. Meischner (1976) pripisuje donosu tih metala rijekama, specijalno rijekom Drim i Bojanom koje donose znatne količine materijala koji je vulkanskog porijekla i koji sadržavaju dosta visoke vrijednosti navedenih metala.

Klein D. i Goldberg E. D. (1970) su izračunali da količina Hg koja dolazi u more antropogenim utjecajem jednaka količini Hg koja dolazi rijekama u more.

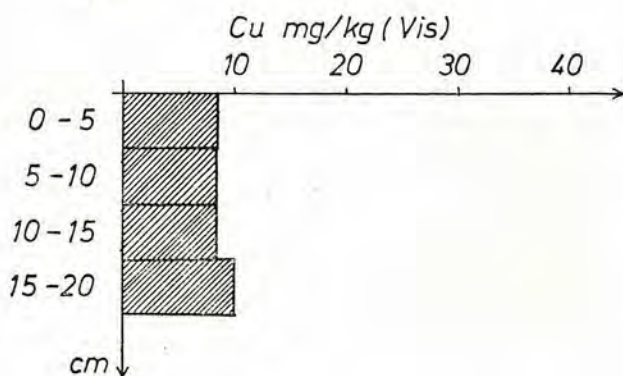
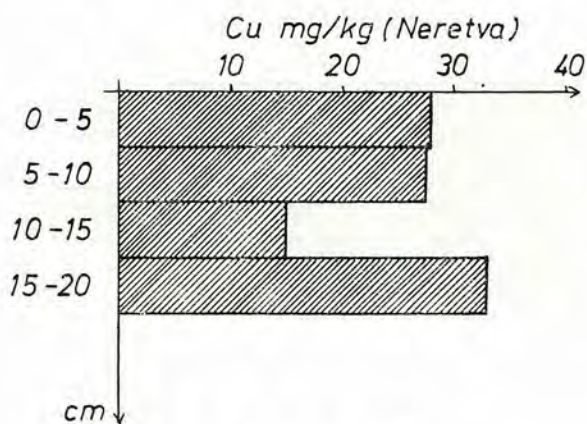
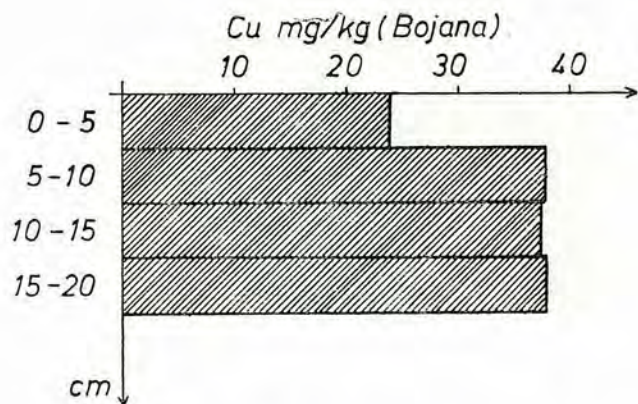
U tab. 2 također su date vrijednosti nekih teških metala u morskim organizmima (*Mullus barbatus*). Taj organizam je uzet kao reprezentativni uzorak za cijeli Mediteran u UNEP/FAO programima za zagađenje Mediterana. U našim istraživanjima mi smo našli znatne količine žive (Hg): Bojana 0.22 — 1.02 $\mu g/g$ svježe težine i



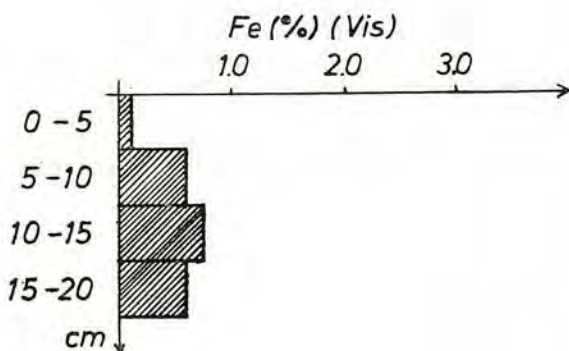
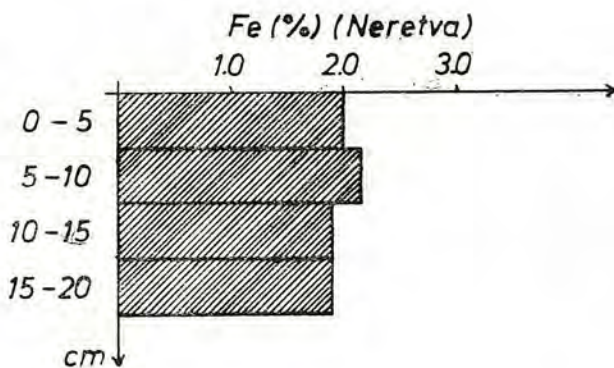
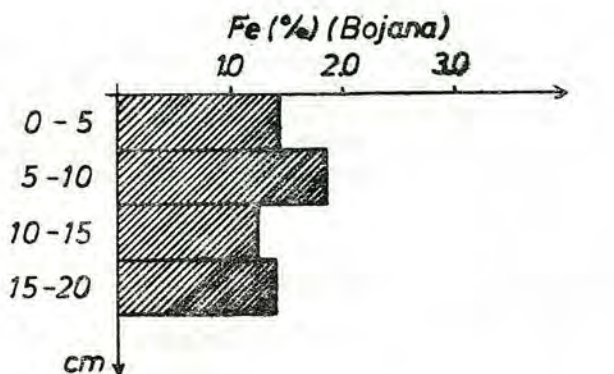
Sl. 1. Vertikalna distribucija Hg (mg/kg) na istraživanom području
 Fig. 1. Vertical distribution of Hg (mg/kg) in the study area



Sl. 2. Distribucija Zn (mg/kg) u sedimentima estuara
 Fig. 2. Distribution of Zn (mg/kg) in the sediments of the estuaries



Sl. 3. Raspodjela Cu (mg/kg) u sedimentima istraživanih područja
 Fig. 3. Distribution of Cu (mg/kg) in the study area



Sl. 4. Vertikalna distribucija Fe (%) u sedimentima istraživaniog područja
 Fig. 4. Vertical distribution of Fe (%) in the sediments in the study area

Neretva 0.49 — 1.49 $\mu\text{g/g}$ svježe težine, dok su koncentracije Hg u organizmima otvorenog mora otoka Vis, dosta niže 0.15 — 0.67 $\mu\text{g/g}$ svježe težine. Ove vrijednosti su možda i najviše vrijednosti nađene u Mediteranu, izuzevši onih nađenih od grupe grčkih znanstvenika za Saronikos zaljev. (Bernhard UNEP/FAO Report 1980). Ove povišene vrijednosti koncentracije teških metala mogli bi objasniti već navedenim faktorima, tj. donosima tih metala rijekama s kopna kao i antropogenom utjecaju.

ZAKLJUČAK

Mada bi mogli reći da su ovo preliminarni rezultati (osobito za estuar rijeke Bojane) ipak je važno istaći da su koncentracije nekih teških metala (Hg, Cu, Zn i Fe) u sedimentima i u morskim organizmima estuara znatno više od onih u sedimentima otvorenog mora. Dakle sediment može ustvari djelovati kao rezervoar tih metala, koji se određenim fizikalno-kemijskim procesima, mogu lako osloboditi i vrlo brzo podići u vodeni stupac. Stoga su ovi metali ustvari latentna opasnost za mnogobrojne morske organizme koji žive u takvim estuarima, a samim tim i za ljudsko zdravlje. Stoga ovakvim istraživanjima trebali bi posvetiti posebnu pažnju i stalni monitoring u budućim istraživanjima.

LITERATURA

- Buljan M., L. Stojanovski i I. Vukadin (1978): Kemijska svojstva voda u estuaru rijeke Krke s posebnim osvrtom na zagađenje, Hidrografski godišnjak 1976-1977, 97-122, Split.
- Klein, D. H. and Goldberg E. D. (1970): Mercury in the marine environment *Envir. Sci. Tehnol.* 4, 765-768.
- Paul J. and D. Meischner (1976): Heavy metal analyses from sediments of the Adriatic Sea. *Senchenbergiana marit.* 8, 91-102, Frankfurt.
- Stegnar P., I. Vukadin, A. Vakselj i A. Prosenc (1981) Toxic trace elements in sediments and organisms from the Adriatic sea. *Simposium, Rovinj*, 1981.
- Vukadin I. (1981): Hidrografska svojstva Malostonskog zaljeva i susjednog mora u periodu 1980-81. godine. *Savjetovanje, Dubrovnik* 1981.

HYDROGRAPHIC PROPERTIES OF RIVER BOJANA AND NERETVA ESTUARIES WITH PARTICULAR REFERENCES TO HEAVY METALS

Ilija VUKADIN & Bojana UROŠEVIĆ

S u m m a r y

Water, sediments and fish were sampled in the estuaries of River Bojana and Neretva. Nutrients and heavy metals were analysed. The values found in the area from the estuaries were higher than the values found at the open sea station, and in the literature on trace metal concentration in the other parts of the Mediterranean.