

CVETENJE ALG POLETI 1988 V LUČI EVTROFIZACIJE SEVERNEGA JADRANA

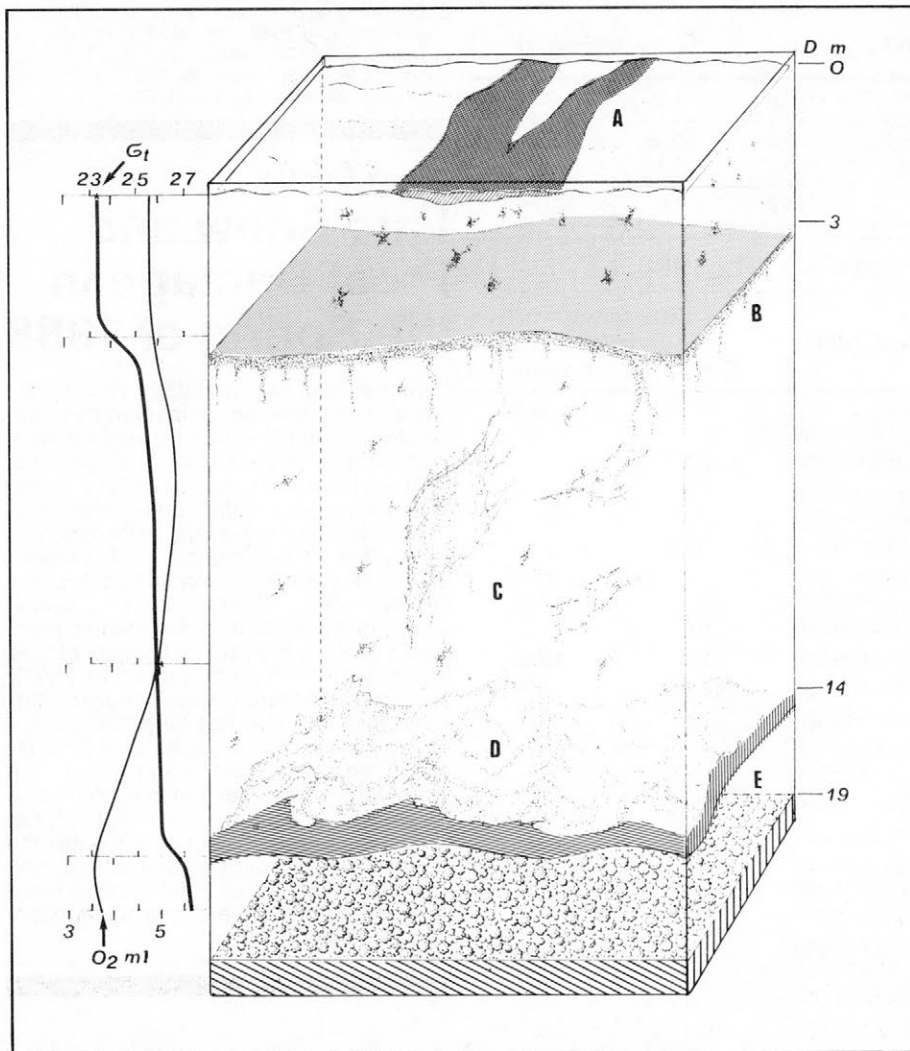
Jože Štirn*

Vedno pogostejše se dogaja, da turistični obisk upada oziroma da turisti zapuščajo nekatere predele sredozemske riviere razočarani nad vidnim onesnaženjem morja in v strahu za svoje zdravje. To, kar jih dejansko odvrča, so kalne, rumenozelene ali rjavordeče obalne vode, sluzaste prevleke na gladini in ostanki odmrlih morskih živali na plažah, kar vse so posledica raznih oblik »cvetenja alg«. Na Jadranu je v tem pogledu že dolgo najbolj prizadet turizem v provinciji Emilia-Romagna. Tamkajšnje obalne vode so, poleg vplivov lokalnega onesnaževanja, pod neposrednim udarom razliva reke Pad, zato je »cvetenje morja« tam postalo stalen pojav. S škodljivimi posledicami teh pojavov smo že bili soočeni tudi na naši strani Jadrana, vendar doslej nikoli v smislu očitne škode turizmu. Poleti 1988 se je prvič zgodilo, da so nas turisti zapuščali predčasno, zgroženi in preplašeni zaradi dramatičnega videza posledic »cvetenja alg«. Poleg trenutne škode turizmu, se upravičeno bojimo, da bodo vtisi tega pojava, nemalo tudi pod medijskim in antipropagandnim vplivom, botrovali manjšemu zanimanju za letovanje pri nas v bližnji prihodnosti. Kakorkoli že, te pojave lahko nesporno opredelimo kot primer takšnih sprememb v okolju, ki niso več samo predmet zaskrbljenosti poklicnih ekologov in varuhov okolja, ampak očitna nevarnost za pomembne panoge našega gospodarstva, predvsem ribištva in turizma. Zato ta pojav upravičeno obravnavamo kot ujmo, ki pa jo je v veliki meri, vzporedno z naravnimi procesi v posebnih okoliščinah, vendarle povzročil človek.

Opis pojava

Sredi julija 1988 (1) so se vsepovsod na morski gladini severnega Jadrana, pa tudi na območju Kvarnerja in zunanjih otokov srednjega Jadrana, pojavile plavajoče plasti želatinasto sluzastih mas rumenokaste barve. Prevladujoči zapadni vetrovi so te plasti potiskali z odprtega morja v obrežno cono, kjer so se kopičile v skoraj neprekinjene trakaste preproge vzdolž obale, v zagatnih zalivih in pristaniščih pa so se zbrale v kompaktne, 0,5–1 m debele sloje. Ti so začeli takoj razpadati in sproščati smrad plinov anaerobne dekompozicije (2), predvsem žveplovodika. Najbolj so bili prizadeti kopalci, ki sploh niso mogli zaplavati, ne da bi pridirali skozi te mase in prišli ven na debelo prekriti z želatinasto prevleko. Poskusi brisanja tega s kože, posebno ko se je plast na koži že zasušila so kopalcem pogosto povzročali skeleče kožne iritacije in včasih tudi sekundarne infekcije. Prvi, ki so opozorili na pojavljanje podobnih mas tudi globlje v morju, so bili ribiči; na stojičih mrežah (poponice) so se namreč nabirale takšne količine tega, da so zaradi težav z dviganjem in čiščenjem mrež ter slabega ulova ribolov v obdobju krize opustili. To ugotovitev smo kmalu potrdili, med drugim s potapljaškimi opazovanji. Na tej osnovi lahko poročamo o makromorfologiji tega pojava.

Pojav je zajel celotno območje, kot je navedeno zgoraj, ter vse sloje vodnega stolpca, razen pridnene plasti sorazmerno zelo goste vodne mase med globino 15–17 m in dnom. V začetni fazi pojava, t.j. v drugi polovici julija, je bila masa v kosmih in »zavesah« porazdeljena sorazmerno enakomerno v vodnem prostoru med pridneno plastjo in površinskim slojem najbolj ugrete vode (3). Na spodnji ploskvi tega sloja je lebdela skoraj neprekinjena plast koncentrirane mase, oblikovno podobna stratocirusnim oblakom, zgoraj na gladini pa so se tvorile trakaste »preproge«, karšne so se nato koncentrirale v obalni coni; voda med tema slojema je vsebovala sorazmerno malo mase, ki je bila porazdeljena v drobne kosme. V drugi fazi oziroma v obdobju kulminacije pojava (4) je porazdelitev v površinskem sloju ostala približno enaka, globlje pa je bila masa združena, sicer deloma tudi v kosmih in manjših trakovih, pretežno pa je bila koncentrirana v velike lebedeče zavese površine 0,1–2 m². Največja akumulacija mase pa se je zbrala na gornji ploskvi pridnene vodne plasti. Na njej je lebdel neprekinjen sloj, katerega debelina je znašala najprej 10–20 cm, kasneje (v razvoju pojava) pa je porasla prek 1 m. Pridnena vodna plast je bila brez agregatov in popolnoma čista do konca kulminacije pojava konec avgusta, ko so se mase iz celotnega vodnega stolpca pričele posadati na dno, vendar so jih tedaj izredno močni pridneni tokovi hitro odnašali v se-



Shematična skica razporeditve mukoznih mas alg v vodnem stolpcu v času kulminacije »cvetenja« poleti 1988 (28. julija) v odnosu na stratificirano gostoto ter posledični razmeri raztopljenega kisika (min. 3,6 ml/l v globini akumulacije alg, 14–16 m).

Legenda: A — frontalni pasovi alg na gladini
B — »preproga« na podpovršinski gostotni diskontinuiteti
C — osrednja vodna masa z »zavesami« in kosmi
D — akumulacija alg na pridneni gostotni diskontinuiteti
E — dno in sloj čistega morja 2–3 m nad njim

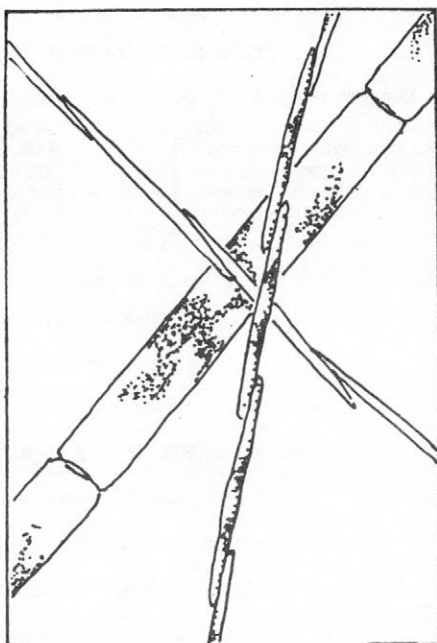
* Dr., Inštitut za biologijo univerze v Ljubljani, Morska biološka postaja Piran

verni in severovzhodni smeri ter večinoma ven iz našega obalnega morja.

Ponekod na morskem dnu, kjer je slabotna pridnena dinamika dopuščala enakomerno posedanje, je količina agregata znašala 0,4–0,5 g (5) na 1 dm² površine dna. Določitev biokemične porabe kisika pri dekompoziciji agregatov so pokazale, da takšna količina porabi na dan 9 ml kisika oziroma kakšnih 50 ml za celoten razklop. S statično predpostavko bi torej aglomerat z 1 dm² dna porabi ves razpoložljivi kisik 10 m visokega vodnega stolpca nad njim. V odprtem sistemu našega plitvega morja sicer po zaslugi reoksigenacijskih procesov (6) ne pride do osiromašenja v takšnem obsegu, ampak lahko ostane brez kisika le neposredno pridneni sloj, kar pa tudi vodi v kritične anoksije in posledične pomore pridnenih organizmov, kot se je zgodilo zaradi istih pojavov l. 1983 in 1987. K sreči so takšne posledice »cvetenja« l. 1988 v našem obalnem morju (7) prizadele le manjši del morskega dna (pas globjega dna izven veznice Piran–Ronko), kjer pa je bil pomor popoln. Temu so botrovala zelo intenzivna gibanja vodnih mas (8) prav v času (konec avgusta), ko so se aglomerati pričeli množično posedati na dno. Tako je sistem že v oktobru 1988 ujel naravno ravnotežje z običajnimi koncentracijami kisika v celotnem vodnem stolpcu.

Za razliko od podobnih dogodkov poleti 1983 in 1987 smo imeli v tem primeru priložnost opazovati pojav od začetka. Nekateri indiciji, predvsem časovno zaporedje prodiranja mas od zahoda k obalam Istre in odtod z vhodno jadransko strujo v Tržaški zaliv, kažejo, da se je eksplozivna rast začela v zahodnih in osrednjih vodah severnega Jadrana, transverzalni razliv teh voda pa je prinesel s seboj tudi že formirane agregate. Ko so prispeli v naše vode, so bili še živi in so še nekaj tednov rasli, zato smo lahko nesporno ugotovili njihovo mikrostrukturo in nastanek (9). Zaradi posebnih naravnih okoliščin in posledic množičnega onesnaženja zahodne strani severnega in srednjega Jadrana, kar je podrobneje obravnavano v zaključnem poglavju tega prispevka, je prišlo do aberantnega poletnega »cvetenja« fitoplanktona (10), predvsem kremenčastih alg, za katere je v takih pogojih značilno veliko izločanje organske sluzi (mukusa), ki združuje prepletene verige celic dominantnih vrst kremenčastih alg v makroskopske aglomerate. Njihovo osnovno mrežo so tvorile vodilne vrste rodov *Nitzschia* in *Leptocylindrus*. V agregatih so bile tudi druge vrste kremenčastih alg, največ iz rodov *Chaetoceros*, *Skeletonema* in *Rhizosolenia*, bičkaste alge (kolektoforide, dinoflagelati idr.), sluzasto maso pa so se zlepile tudi številne planktonske živali, mineralni delci, drobni odpadki itd., iz česar so nastale zgoraj opisane velike forme kompleksnih aglomeratov.

Racionalna presoja vzrokov in posledic tega pojava je možna le ob sočnem razumevanju procesov evtrofizacije, zato ta vidik obravnavamo kompleksno v naslednjem poglavju.



A



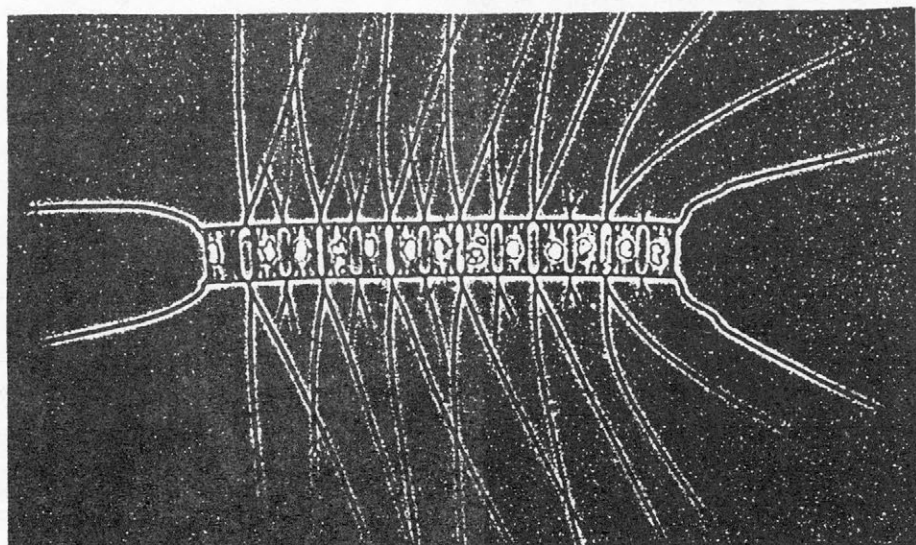
B



C



D



E

Prevladujoče vrste diatomejskega »cvetenja« severnega Jadrana julija 1988:

A = mikroskopa (povečano 1120-krat) mreže celičnih verig velike vrste *Leptocylindrus danicus* (B = mikrofot. po Brunelu) in drobne *Nitzschia delicatula* (C = elektron. mikrofot. apikalnega dela po Hasle)

E in D = subdominantne vrste *Chaetoceros decipiens* in *Nitzschia closterium* (mikrofot. po Hasle)

Razprava in zaključki o pojavu v luči evtrofizacije severnega Jadrana

To delo je namenjeno tudi širši strokovni javnosti brez posebnega biološkega in specifično morsko-ekološkega predznanja, zato najbrž ne bo odveč razlaga nekaterih osnovnih pojmov.

Ne da bi se spuščali v podrobnosti utemeljevanja znanstvenoeколоške definicije

tega pojava, ta se namreč bistveno loči od onih v tehničnih in legalnih koncepcijah (Štirn, 1980, 1988), opredelimo pojem evtrofizacije kot »določeno stopnjo trofične ravni, ki je prvenstveno zaradi signifikantno zvišanega priliva hranilnih snovi, bistveno višja od one, kakršna bi bila sicer v danem akvatičnem ekosistemu brez vpliva spremenjenih pogojev«. Dobe sedno prevedeno in dejansko pomeni trofičnost dano stanje prehranjenosti, oziroma količino razpoložljive organske hrane za vsa živa bitja v prahrambeni verigi danega sistema, ki je različna in v skladu, med drugim z večjo ali manjšo razpoložljivostjo hranilnih soli, kar opredelimo kot:

26 ● oligotrofost sistemov v skrajno skromnih hranilnih pogojih s posledično nizko bioproduktivnostjo, kar se med drugim odraža v praviloma zelo nizki gostoti fitoplanktona, iz česar sledi tudi izjemna prozornost in modrina morja kot je značilno za pretežni del Sredozemlja, vključno jugo-vzhodni del Jadrana;

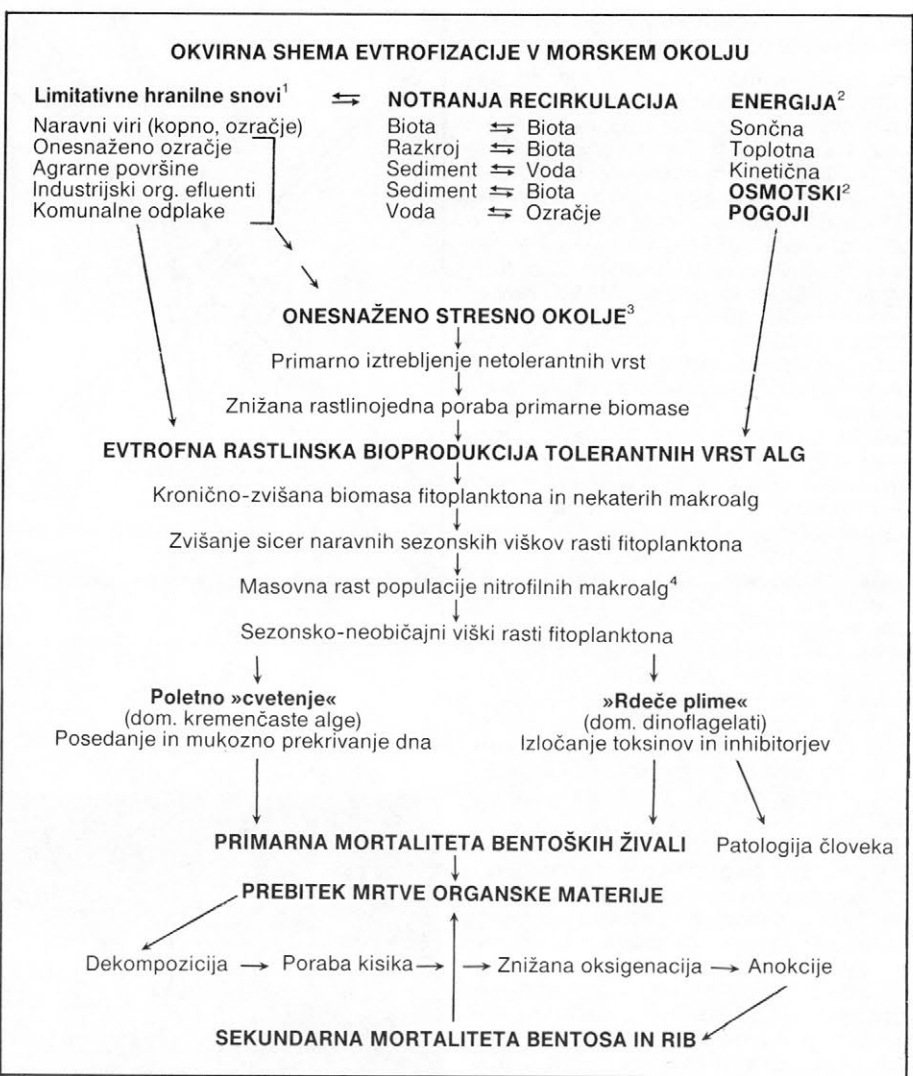
● evτροφnost pa je stanje sistema, v katerem visokemu hranilnemu potencialu sledi prav takšna bioprodukcija, kar se, poleg mnogoterih bistvenih ekosistemskih značilnosti, najbolj očitno odraža v kalnosti in zeleni barvi morja, kot npr. v severozahodnem območju Jadrana, vključno Tržaški zaliv.

Mnoga območja svetovnega oceana so na določeni ravni evτροφnosti na rovaš popolnoma naravnih pogojev, tako tudi severo-zahodni del Jadrana, ki so mu alpske reke od nekdaj prinašale visoke količine hranilnih soli, izprane pri preperevanju kamenin v zaledju. Zato procese, ki so do tega privedli pojmujeemo kot naravno evτροφizacijo. Vplivi teh procesov so bili v danem ekosistemu dolgotrajni, najmanj v razponu več desetisočletij, kar je omogočilo evoluciono prilagoditev sistema na praviloma uravnoteženo stanje evτροφnosti. V bistvu enak vpliv imajo v danem ekosistemu tudi hranilne snovi, ki jih kot odpadke proizvaja človek: v komunalnih in nekaterih industrijskih odpadkih, posredno s prašenjem in dežjem iz onesnaženega ozračja ter z izpiranjem ostankov umetnih gnojil. Če so ti vplivi tolikšni, da povzročijo ali povečajo evτροφnost sistema, govorimo o procesih antropomorfne evτροφizacije. Ta se samoumevno pojavlja v omembe-vrednem obsegu šele v sodobnem obdobju in štejemo čas njenega vpliva na ekosisteme le v razponu nekaj desetletij, vsekakor tako kratko, da dani ekosistem nikakor ni zmozel bistvenih adaptacij na nove pogoje. Ravnotežje ekosistema je porušeno, pojavne oblike njegove evτροφnosti pa so lahko drastične, uničujoče in v veliki meri nepredvidljive.

V tem prispevku seveda ne moremo obravnavati nobenih podrobnosti o dokaj zapletenih in začuda še slabo raziskanih procesih evτροφizacije, osnovne oblike pojavnosti in medsebojnih povezav prikazujemo zato le shematsko ih zelo poenostavljeno (12).

V naših razmerah se običajno in vedno pogostejše srečujemo z naslednjimi pojavnimi oblikami evτροφizacije:

● Generalna pelagična (13) evτροφizacija celotnega Severnega Jadrana je zaradi antropomorfni vplivov v dokah očitnem porastu (14). Kakor je jugozahodno od ustja Pada (Emilia-Romagna) le-ta že skorajda stalno na ravni »cvetenja« in rednega pojavljanja »rdečih plim«, tako je v pasu vhodne jadranske struje vzdolž Istre umirjena in jo s stališča bioloških resursov zaenkrat še lahko ocenimo kot koristno obogatitev bioprodukcije. Tako so se npr. v zadnjih 20-tih letih vzdolž celotnega obrežja Istre razvile masovne populacije klapavic in imigriranih japonskih ostrig, ki jih prej zaradi pčilega hranilnega potenciala fitoplanktona sploh ni bilo. Obstojajo tudi dokaj očitni, na žalost slabo raziskani indiciji o porastu populacij sardele, vendar ob sočasnem upadu inčuna.



¹ Privzemne kemijske spojine dušika, fosforja in silicija, nekateri mikrobioelementi (Fe, Co), biostimulacijske spojine vitaminske in ferohormonske narave splošno in/ali izjemoma limitirajo, oz. pospešujejo rastlinsko bioprodukcijo, dočim zaloge makrosurovin (CO₂, H₂O in makrobio-elementi) obravnavamo kot neizčrpne.

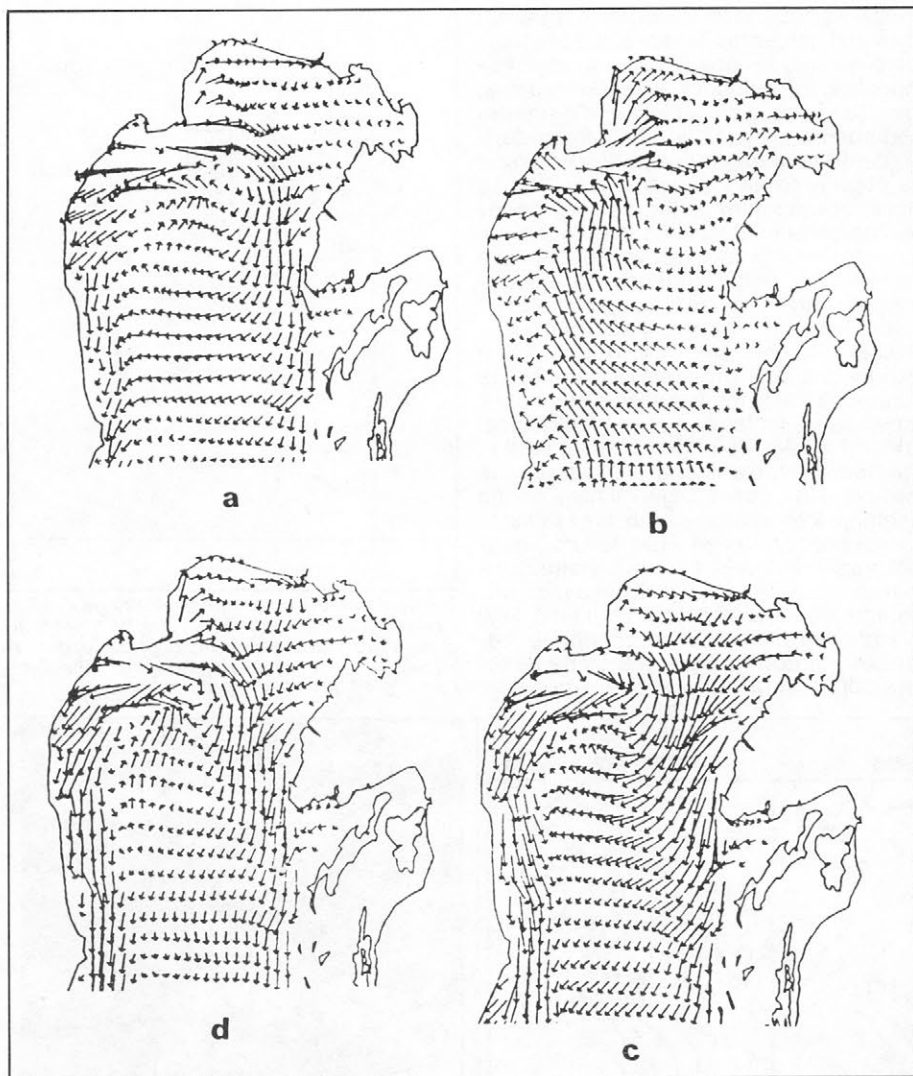
² Z izjemo slabših svetlobnih pogojev v evτροφno-kalnih vodah, človek teh pogojev ne spreminja, oziroma v zanemarljivem obsegu (termopolucija, lokalizirane spremembe slanosti).

³ Primarno zmanjšana oksigenacija, povečana kalnost, toksične, subletalne in inhibicijske komponente.

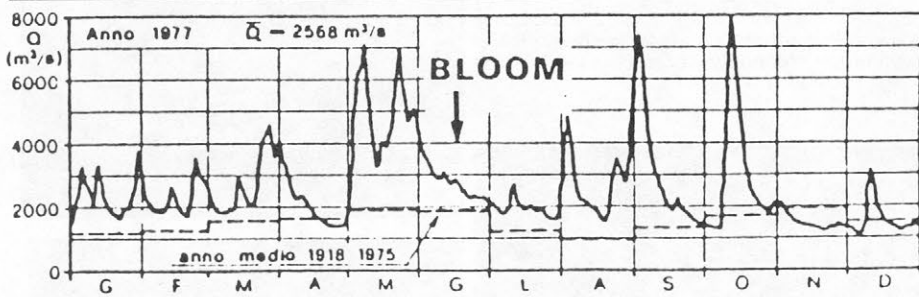
⁴ »Morska solata«, zelene alge rodov *Ulva* in *Enteromorpha*.

● Izredni pojavi »cvetenja« in »rdečih plim« so postali od poznih šestdesetih let dalje kot rečeno na jugo-zahodnem področju Severnega Jadrana stalen pojav, na celotnem območju, vključno naše obalno morje, pa se pojavljajo občasno, vendar z naraščajočo frekvenco in gostoto fitoplanktona ter na žalost tudi s posledičnimi anoksijami ter pomori bentoških živali in rib. Do prvega primera takšnega pojava, ki je zajel vse območje in povzročil masovni pomor bentosa in rib na cca 1/3 celotnega severno-jadranskega dna, je prišlo v zgodnjem poletju 1977. Večina raziskovalcev je pojav pripisala masovnemu razvoju iskrnice (*Noctiluca miliaris*), ki je v rdečih »preprogah« prekrivala morsko gladino, dejansko pa je dominirala izredno gosta populacija (30 · 10⁶ celic · dm⁻³) bičkarja *Chatonella* sp., celotna vodna masa je bila kavrnjava z vidljivostjo 1–2 m. Četudi ta pojav v našem obalnem morju ni povzročil dokumentiranih pomorov, se ob njem zadržujemo nekoliko dalj zato, ker popolnoma

jasno in dokumentirano dokazuje vzročnost z masivnim razlivom Pada (Degobbis et al., 1979; Stefanon & Bol-drin, 1982; Štirn, 1988), katerega pretok je bil en mesec pred pojavom sploh najvišji izmed meritev po l. 1918 (> 7000 m³ · sec⁻¹). V recentnih polemikah o teh pojavih se namreč soočamo s tendencami, da se jim pripisuje naravna pogojenost in nedokazljivost onesnaževalnih dejavnikov na osnovi tega, da prve publicirane informacije o pojavu »cvetenja« datirajo že iz konca 19. stoletja (npr. prva Syrski, 1972/74), da zaradi izlivanja »padskih voda« z zahodno izhodno strujo le-te ne morejo vplivati na razmere v »istrskih vodah« in v Tržaškem zalivu itd. Takšne tendence pač lahko razumemo v tehnopolitičnih krogih v Italiji, ki bo prej ali slej prisiljena poskrbeti za silno drage asanacijske ukrepe, nikakor pa ne moremo sprejeti takšnih stališč in niti pretirano previdnega skepticizma s strani nekaterih, med njimi tudi naših znanstvenikov, ki ne vedo ali nočejo priznati številnih nespornih dejstev o



Površinska cirkulacija Severnega Jadrana v julijskem brezvetrju s formiranjem anticiklonalnega vrtinca in očitnim transversalnim transportom. Glej faza B! (Simulacija s satelitsko kalibriranim hidrodinamičnim modelom, po Nihoul & Jamart, 1987)



Vpliv ekstremnega pomladnega pretoka reke Pad na nastanek katastrofalnega »cvetenja alg« (»bloom«) poleti 1977 v celokupnem Severnem Jadranu. (Iz Störn, 1988; hidrološki podatki po Grego & Mioni, 1985)

- Meritve tokov, s satelitsko teledetekcijo podprte simulacije s hidrodinamskimi modeli itd. potrjujejo, da (cit. Vučak, 1985): »Voda rijeke Po dijelom nastavlja svoj tok od ušća prema istoku. Taj se strujni tok ispred istarske obale razdvaja te sjeverno formira ciklonalno cirkulaciju a južno anticiklonalno koja je suprotna općem trendu strujanja«.
- Višji je pretok Pada, obsežnejši je transversalni transport površinske, izdatno oslajene vodne mase. Pretok je

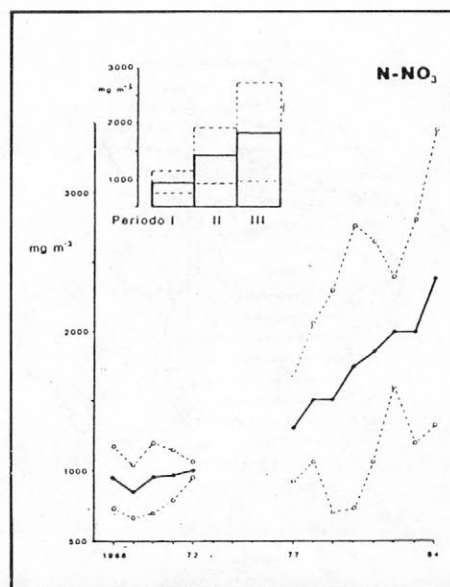
navadno (zaradi taljenja snega in deževnosti) najvišji v pozno-pomladnem obdobju, kar povzroča, da ima celotni Severni Jadran praviloma poleti minimum površinske slanosti $< 35\text{‰}$ (v letih visokih pretokov Pada $30\text{--}32\text{‰}$) sicer pa običajnih $37\text{--}38\text{‰}$. Samoumevno je, da takšno masivno oslaiditev povzroča prvenstveno Pad s svojim $3\times$ večjim letnim izlivom ($50\text{--}70\text{ km}^3$) kot ga prispevajo vse druge alpske reke skupaj.

Te oslajene vodne mase so seveda brez izjeme močno onesnažene na razne načine, vsekakor pa so, poleg dežja in notranjega recikliranja (15), poglaviti in za Severni Jadran specifični vir evτροφizicjsko-aktivnih hranilnih snovi, tako naravnega kot polucijskega porekla; zato so vsi pojavi »cvetenja alg«, tudi oni iz prejšnjega in začetka tega stoletja (16), sledili ekstremno obsežnim razlivom Pada in sovpadali s fazami minimalne slanosti celotnega Severnega Jadrana. V posebnih okoliščinah (relativno manjša osvetljenost in nižja temperatura pomladi ter stabilno sončno in nevetrovno vreme poleti) se sorazmerno običajni pojav »mare sporco« pomladnega ali jesenskega obdobja sprevrže v navidezno intenzivnejše poletno »cvetenje« kremenčastih alg (diatomeje). Navidezno pravimo zato, ker je gostota celic fitoplanktona več ali manj enaka, le da ta ni enakomerno dispergirana v vodni masi, ampak se združuje v goste, sluzaste aglomeracije, kot smo opisali zgoraj, to je posledica znane ekološke adaptabilnosti lebdečih diatomej, ki v pogojih nizke gostote morske vode, torej v topli in oslajeni poletni vodi, preprečujejo svoje tonjenje tako, da se združujejo v verige, ob sočasno povečanem izločanju ekstracelularnega mukusa ter tako tudi v takšne aglomerate. Kot smo že opisali, se zaradi njihove gosto-mrežaste strukture, velike površine in lepljivosti na teh aglomeratih zbira več in več zunanjih delcev (17), teža pa narašča do takšne mere, da se, primarno koristna adaptacija, sprevrže v svoje nasprotje, ker agregat končno potone na dno. Tisti del fitoplanktona, ki v takšnih pogojih naseljuje sloj prvih nekaj metrov pod površino, pa producira presaturirane količine kisika, katerega mehurčki, ujeti v aglomeratu, le-tega dvignejo na gladino, kjer nastajajo opisane preproge. Nošene z vetrom in plimo se le-te v zagatnih zalivih lahko nakopičijo v polmetrske sklade mašanice alg, morske trave in trdnih odpadkov, kjer se razkrajajo, pod zgornjo skorjo seveda anaerobno in emitirajo v ozračje metan, žveplovodik in volatilne merkaptane. Na ravni morskega ekosistema je seveda bistveno bolj problematična dezoksigenacija kot posledica primarno aerobne dekompozicije odmrlih agregatov. Kot rečeno se ti pravilom zbirajo tik nad slojem pridnene vodne mase (ta ima zaradi višje slanosti in nižje temperature pod termoklino (18) bistveno višjo gostoto, npr. $0,025$, kot mešani sloj nad njo, npr. $> 0,027$), kjer njihova dekompozicija povzroči značilni intermediarni minimum kisika na ravni $< 3\text{ ml} \cdot \text{dm}^{-3}$ (namesto siceršnjih $5\text{--}6\text{ ml}$). do skoraj popolne anoksije ($< 0,2\text{ ml}$) pa pride, najbrž le tik nad dnom, povsod tam, kjer se posedejo večje količine odmrlih aglomeracij, te se namreč zaradi pridnenih turbulenc na dnu ne posedajo enakomerno. Zaradi bistveno bolj intenzivne dekompozicije na dnu kot v vodi je namreč tudi poraba kisika hitrejša, velik delež dezoksigenacije pa gre tudi na rovaš razkroja sedentarnih bentoških živali, ki jih posedli sluzasti agregati alg najbrž »zadušijo« še prej, preden pride do dejanske anoksičnosti.

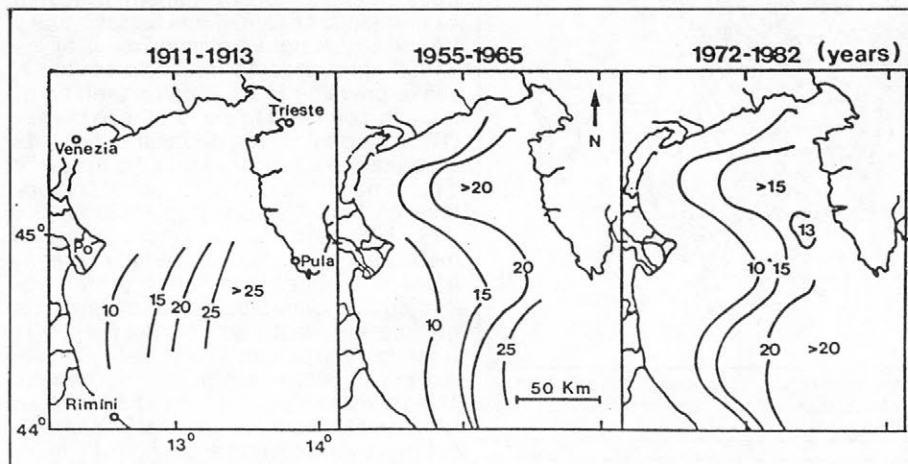
»Cvetenja alg«, ki so botrovala hipoksičnim krizam, pravim anoksijam in posledičnim pomorom bentoških nevretenčarjev in rib v našem obalnem morju pozno poleti I. 1983 in 1987, kakor tudi, doslej najmasovnejši takšen pojav poleti 1988

28 (19), v bistvu vsi sledijo gornjemu konceptu vzročnih procesov. Kritiki polucijske vzročnosti teh pojavov se naslanjajo, kot že rečeno na sporadično pojavljanje »cvetenj« v obdobjih, ko je bilo onesnaževanje še sorazmerno neznamno v primerjavi s sedanjim. Takšne primerjave so za presojo po eni strani nesmiselne, ker pač vsak poznavalec teh pojavov to že itak ve, po drugi strani pa neprimerljive, ker so historične informacije popolnoma nekvantificirane. To pa sploh ni bistveno, kjati na žalost se »stari« in »novi« pojavi ločijo dramatično v tem, da zadnji kvantitativno presegajo prag ekostemskega ravnotežja, povzročujoč anoksije, ki so ultimativna posledica evtrofizacije. Ker gre velik delež njenih vzrokov nesporno na rovaš onesnaževanja, delujejo torej kritiki tudi proti strategiji njenega preprečevanja, katere osnova so dejanski ukrepi za znižanje obremenitve s hranilnimi snovmi. Prav pri usmerjanju racionalne izbire zadevnih ukrepov pa vidimo resnično in prioritarno nalogo, ki jo mora rešiti znanstvena panoga morske ekologije skupno s projektanti asanacijskih ukrepov. Poleg določenih, vendar dokaj omejenih možnosti za zmanjšanje obre-

menitve z dušikom in fosforjem iz agrarnih virov in detergentov, lahko realno pričakujemo največjo redukcijo z asanacijo komunalnih in podobnih organskih odpadkov, kar dosežemo s čiščenjem in s primerno podmorsko dispozicijo. Zadnja pride v poštev le za manjša naselja, ki so locirana na obali in to ne v zveznem nizu, ker se sicer obremenitev integrira do nedopustne stopnje. Za veliko večino virov v Italiji to torej pomeni obvezno biološko čiščenje in dodatno terciarno odstranjevanje hranilnih soli, ker jih biološko čiščeni efluent vsebuje v visokih koncentracijah. Deloma zato, ker je tehnološko neprimerno lažje precipitirati fosfor kot pa eliminirati dušik ter pod vtisom stare doktrine, da je fosfor limitativno-odločujoči faktor (Fanuko, 1988; Stirn, 1988) rasti in produkcije fitoplanktona na Jadranu, se tehnologi in upravni organi v Italiji očitno nagibajo k tej strategiji, toda brez jamstev v uspešnost podviga. Upoštevajoč obojestransko korist bi bilo zato najbrž primerno, da tudi z našimi raziskavami pripomoremo k razreševanju te dileme, kajti v zadevnem ekološkem znanju je dejansko potrebno odgovoriti še na nekatera odprta vprašanja ključnega pomena.



Trikratni porast koncentracij nitratnega dušika v reki Pad v obdobju 1968—1984, po Marchetti et al., 1985. (Srednje vrednosti in stand. dev. v krivuljah ter v blok-diagramu za obdobje: I=1968-72, II=1977-78, III=1979-84)



Naraščanje kalnosti Severnega Jadrana, oziroma padanja vrednosti vidne globine (v m) plošče Secchi v obdobju 1911—1982; po Justić, 1988. Opomba: povprečna Secchi globina v Koprskem zalivu znaša 7 m!



Marina v Portorožu (foto M. Orožen Adamič).



Alge pod morjem (foto M. Richter).

1. Avtor je pojav opazil v našem obalnem morju prvič 23. 7. 1988, v obalni coni hrvaške Istre pa je bil zapažen prej, npr. v Umagu 13. 7. (Fanuko, 1989).
2. Bakterijska razgradnja organskih snovi v okolju brez kisika, kakršno je bilo znotraj teh mas že par milimetrov pod površinsko skorjo nakopičene mase.
3. Sloj med gladino in globino 2—3 m.

4. Prva polovica avgusta do začetka deževno-vetrovnega vremena (18. 8.—25. 8.).
5. Suha teža v laboratoriju razsoljene in pri 70°C sušne snovi.
6. Vertikalni turbulentni transport kisika iz gornjih slojev (absorpcije iz zraka, fotosinteze iz fitoplanktona) ter pridneni horizontalni vdor dobro oksigenirane intermediarne vodne mase iz srednjega Jadrana.
7. Preverjenih informacij o zadetih razmerah za zapadni in centralni del severnega Jadrana, kjer se je najbrž deponirala glavina aglomeratov, nimamo.
8. Posledica velikih bibavičnih amplitud in neurnega vremena z burjo v drugi polovici avgusta 1988.
9. Četudi je že davno spoznano, da se podobni, vendar bolj razpršeni sluzasti agregati formirajo tudi v obdobjih naravnih vrhuncev rasti planktonskih kremenastih alg severnega Jadrana (pomladi in jeseni), če je ta v posebnih okoliščinah posebno bujna, se opazovalci pojavov l. 1983 in 1987 niso mogli jasno opredeliti. Nekateri raziskovalci tudi nastanek pojava l. 1988 pripisujejo proliferaciji kremenastih alg z morskega dna, vendar gre za popolnoma drugačen pojav, poznan že dolgo npr. v kanalih Kvarnerja.
10. Združba enoceličnih alg planktona, ki dispergirano in bolj ali manj lebeče naseljuje proste vodne mase v našem plitvem morju od gladine do dna.
11. Deloma povzeto iz rokopisa istega avtorja za knjigo »Slovenija 88«.
12. Zaradi preglednosti so izpušeni ekosistemski elementi primarne bakterijske in mesojedih produkcijskih stopenj, večina vzvratnih procesov itd.
13. Pomeni okolje prostih vodnih mas, ki ga naseljujejo planktonske združbe in peelaške ribe »plava riba«.
14. Eden izmed nazornih indicijev je historično evaluirani porast kalnosti Severnega Jadrana (po Justić, 1988), ki gre na območjih izven signifikantnega vpliva suspendiranih mineralov prvenstveno na rovaš gostote fitoplanktona.
15. Recikliranje je sicer stalno v celotnem vodnem stolpcu, najizdatnejše pa je pri morskem dnu, kjer se hranilne soli sproščajo iz razgradnje posedle organske materije v pridnene vodne sloje. Ko je v zimskem času gostota vodnih mas homogena od dna do površine, z vetrovi gna vertikalna konvekcija pa izdatna, se površinski sloj obogati s hranilnimi solmi, kar omogoča pomladni maksimum fitoplanktona kot je značilno za vsa obalna območja Mediterana. Na podoben način pride običajno tudi do manjšega jesenskega maksimuma. Za te pojave je značilen umirjen porast gostote fitoplanktona, ki je praviloma $> 10 \times$ nižja od gostot v primerih »cvetenja«.
16. Brez izjeme so bili to ekstremno zvišani maksimumi diatomejskega fitoplanktona, že zdavnaj znani pojav »mare sporco« (Štirn, 1969), ki so dosegli aberantno kulminacijo, namesto pomladi, v poletnem času.
17. Na žalost ta past lovi tudi ikre in ličinke rib, ki se drstijo v poletnem času, med njimi tudi inčun. ena izmed gospodarsko najpomembnejših vrst na Jadranu.
18. Meja, kjer temperatura ogretega mešanega sloja (20–22°C) abruptno pade na raven pridenega sloja (16–19°C).
19. Pojav je zajel tudi obalne vode Srednjega Jadrana, toda tipično le tam, kjer je znan ali načelno možen transverzalni transport površinskega sloja zapadne vodne mase, oziroma v notranjih vodah tam, kjer so izdatni lokalni viri hranilnih soli iz onesnaženja ali vertikalnih konvekcij, npr. v kanalih Kvarnerja. Upoštevati pa moramo, zaenkrat kot delovno hipotezo, tudi vzporedni vpliv nekega zunanega faktorja, morda solarno-radiacijske narave, kajti v vseh akvatičnih sistemih severne hemisfere z visokim nutrientnim potencialom je bila poleti 1988 očitna tendenca pojavov »cvetenja alg«.

- Degobbi et al., 1979. Increased eutrophication of the Northern Adriatic Sea. *Mar. Poll. Bull.*, 10: 298–301.
- Faganeli et al., 1985. Bottom layer anoxia in the Gulf of Trieste in Summer 1983. *Mar. Poll. Bull.*, 16: 75–78.
- Fanuko, N., 1988. Koncept limitirajučeg faktora u moru — primjer Tršćanskog zaljeva. *Pom. Zborn.*, 26: 595–600.
- Fanuko, N., 1989. Osebna informacija.
- Grego, G., F. Mioni, 1985. Aspetti morfologici ed idrologici attuali del Delta del Po e confronto con il presseto. *Nova Thalassia*, 7: 27–87.
- Marchetti, R. et al., 1985. Tendenze evolutive della qualità delle acque del Po. *Nova Thalassia*, 7: 311–340.
- Nihoul, J., B. Jamart, 1987. Three-dimensional models of marine and estuarine dynamics. Elsevier, Amsterdam, 629 p.
- Stachowitsch, M., 1984. Mass mortality in the Gulf of Trieste. *Mar. Ecol.*, 5: 243–264.
- Stachowitsch, M. A. Avčin, 1988. Eutrophication-induced modifications of benthic communities. *UNESCO Reports in Mar. Sci.*, No. 49: 67–80.
- Stefanon, A., A. Boldrin, 1982. The oxygen crisis of the N. Adriatic in 1977 and its effects on benthic communities. *Proc. 6th Symp. CMAS*: 167–175.
- Syrski, S., 1872/74. Relazione prodotta all' i.r. Governo marittimo in Trieste dal Dr. Syrski sulle masse glutinose osservate nei mesi di giugno e luglio 1872 nella parte settentrionale dell'Adriatico. Tipologia Hermanstorfer, Trieste, 6 p.
- Štirn, J., 1965. Onesnaženje morja v Tržaškem zalivu. *Varstvo narave*, 2–3: 157–184.
- Štirn, 1966. Eutrophication of the sea by organic pollution. *Proc. FAO GFCM*, 8: 341–345.
- Štirn, 1969. Pelagial Severnega Jadrana, Razprave SAZU, 12: 1–92.
- Štirn, 1971. Ecological consequences of marine pollution. *Rev. Intern. Oceanogr. Medic.*, 24: 13–46.
- Štirn, 1980 b. Racionalna strategija zaštite od eutrofizacije. *Vodoprivreda*, 12: 81–87.
- Štirn, 1988. Eutrophication in the Mediterranean Sea (Scientific Background for the Preparation of relevant MAP/UNEP Guidelines). *UNESCO Rept. Mar. Sci.*, 49: 161–187.
- Štirn, et al., 1974. Pollution problems of the Adriatic Sea. An interdisciplinary approach. *Rev. Intern. Oceanogr. Medic.*, 36: 21–78.
- Tržaškega zaliva. *Zdrav. vestn.*, 56: 145–147.
- UNEP/MAP, 1977–88. Poročila in dokumenti monitoringa in raziskav Sredozemlja.
- Vučak, Z., 1985. Strujanje u Sjevernom Jadranu u vidu uzroka i posljedica. *Doktorska disertacija*, 272 str.

Jože Štirn

Algae Blooming in the Summer of 1988 with respect to the Eutrophication of the Northern Adriatic

During July and August 1988, the entire water-mass of the Northern and Middle Adriatic (above the seasonal pycnocline at a depth of 14.0–16.0 m) was invaded by a heavy and, for the summer season, quite

unusual »bloom« of pelagic diatoms (the dominant genera being *Nitzschia* and *Leptocylindrus*), which were mucously agglomerated into buoyant glutinous flocks, stripes and »curtains« with a surface area of up to 2.0 m². The greater part of the mass of the algae accumulated just above the density discontinuities (at depths of 2–3 and 14–16 m) into 10–150 cm thick, continuous layers. However, a part of the mass floated onto the surface of the sea in the form of frontal strips and »blanks«. Having drifted towards the coast, they accumulated near the shore, in 20–50 cm thick mats, upsetting swimmers and tourists generally (particularly after rather unpleasant decomposition had taken place). Many of the tourists left, and as a consequence there was a considerable reduction in income from tourism.

During the final stage of the »bloom«, the greater part of the algae sank to the bottom of the sea, and vigorously consumed oxygen during decomposition. Fortunately this coincided, by the end of August, with windy weather, spring-tides and consequently strong bottom currents which carried most of the algae masses away from our coastal waters towards the northwestern parts of the Adriatic, where anoxic conditions triggered many cases of mass mortality of benthic invertebrates and demersal fish. In our coastal waters the only such case of mass mortality was recorded in a smaller area offshore, near Strunjan and Cape Ronko. However, taking into account the economic impact of this phenomenon, besides the harm to tourism, the major threat is expected to be in the 1989–91 fisheries of anchovy for the 1988 spawning, i.e. recruitment failed because eggs and larvae were destroyed within the mucous algal masses.

Although the sunny and windless weather which persisted during the summer of 1988 certainly enhanced this phenomenon, and although there was a general »blooming« tendency all over the Northern Hemisphere, and even taking into account a global solar-radiation anomaly, the crucial question of the trophic origin of the »bloom« remains rather obscure, mainly for a lack of sufficient oceanographical data. Clearly, such a biomass of algae requires a proportionally large input of nutrients, whose only substantial sources are the Alpine rivers and the recycling of nutrients from the organic material that settled after the heavy »bloom« during the winter of 1987–88. Since the available data concerning nutrient concentrations in the eastern waters of the northern Adriatic, obtained just prior to the »summer-bloom«, do not show any significant enrichments, the only possible explanation is that the origin of the »bloom« was within the enriched western waters of the Northern Adriatic, whence already formed mucous masses invaded the whole area, carried by the transversal and cyclonic transport of surface water masses.