

KRYSTYNA WIKTOR
Instytut Ocenografii
Uniwersytetu Gdańskiego
Gdynia

Zmiany w produktywności biologicznej Bałtyku jako efekt postępującej eutrofizacji

Changes in the biological productivity of the Baltic Sea as the effect of progressive eutrophication

Bałtyk zajmuje specyficzne stanowisko wśród mórz Europy. Najsilniejsze piętno na charakter zasiedlenia i przebieg procesów produkcyjnych wywierają dwa czynniki:

1) niskie zasolenie wód, które limituje liczbę występujących gatunków,

2) wyraźna dwuwarstwowość mas wodnych, związana z pionową stratyfikacją zasolenia i gęstości wody. Stan taki utrudnia pionową cyrkulację mas wodnych, a tym samym i zaopatrywanie przydennych warstw wody w tlen, które w tym układzie ma miejsce głównie przy wlewach wód z Morza Północnego.

Sytuacja ta sprzyja również akumulacji substancji organicznej i soli biogenicznych w warstwach przydennych, a zwiększone zapotrzebowanie tlenu na procesy destrukcyjne pogarsza jeszcze sytuację, prowadząc do pogłębiających się — od wlewu do wlewu — deficytów tlenowych. Stan taki utrudnia również wynoszenie soli biogenicznych w wody przypowierzchniowe, w strefę eufotyczną — strefę fotosyntezy. Jest więc jednocześnie jednym z czynników limitujących produktywność biologiczną tego morza, szczególnie produktywność pierwotną. Konsekwencją takiego stanu rzeczy była stosunkowo niska produktywność biologiczna Bałtyku. Szacowana z końcem lat pięćdziesiątych produktywność pierwotna: ca 56 g/m²/rok zamykała się w średniej podawanej przez Steemana Nielsena dla wszechoceanu. Niezbyt wysoko kształtowała się również produktywność rybacka, pozwalająca — według przeprowadzonych w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych szacunków — na odłów ryb w maksymalnej wysokości nie przekraczającej 600 tysięcy ton rocznie.

Bałtyk w swej historii przechodził różne, dość drastyczne zmiany, zanim ukształtował się w swej obecnej postaci. Podlegał też — i z pewnością będzie w przyszłości podlegał — krócej lub dłużej trwającym fluktuacjom. Zmiany jednak, o których będzie mowa w referacie, mają inne podłoże. Są one bowiem w dużej mierze wynikiem bezpośredniej działalności człowieka, a dotyczą narastającego w szybkim tempie pro-

cesu eutrofizacji tego akwenu. Łączyć je należy ze wzrostem zanieczyszczenia wód, spowodowanym w pierwszym rzędzie spływem z lądu ścieków przemysłowych, agrotechnicznych i komunalnych.

Szczególne niebezpieczeństwo dla procesu eutrofizacji kryje w sobie w pierwszym rzędzie zwiększony dopływ fosforu, rosnący w ostatnim dziesięcioleciu z roku na rok wraz z szybkim rozwojem przemysłu i intensyfikacją rolnictwa krajów nadbałtyckich. Proces postępującej eutrofizacji wywołał zarówno zmiany w produktywności biologicznej, jak i w strukturze zespołów. Pociąga to za sobą daleko idące konsekwencje, stwarzając dla Bałtyku sytuację alarmową.

Zwiększony dopływ fosforanów do Bałtyku jest przypuszczalnie jednym z głównych czynników, który w pierwszym rzędzie uaktywnił rozwój fitoplanktonu. Znalazło to swój wyraz w sukcesywnie postępującym wzroście produktywności pierwotnej. Wartość produkcji pierwotnej wzrosła od ca 56 g C/m²/rok w latach pięćdziesiątych do ponad 100 g C/cm²/rok w latach siedemdziesiątych. Wzrost produktywności pierwotnej szczególnie wyraźnie postępował w latach 1967—1970. W 1970 r. wartość produkcji pierwotnej osiągnęła rekordową wielkość: 120 g C/m²/rok w Głębi Gdańskiej i jeszcze wyższe wartości w rejonie Cieśnin Duńskich (Renk 1972, Renk, Torbicki i Ochocki 1974). Po-

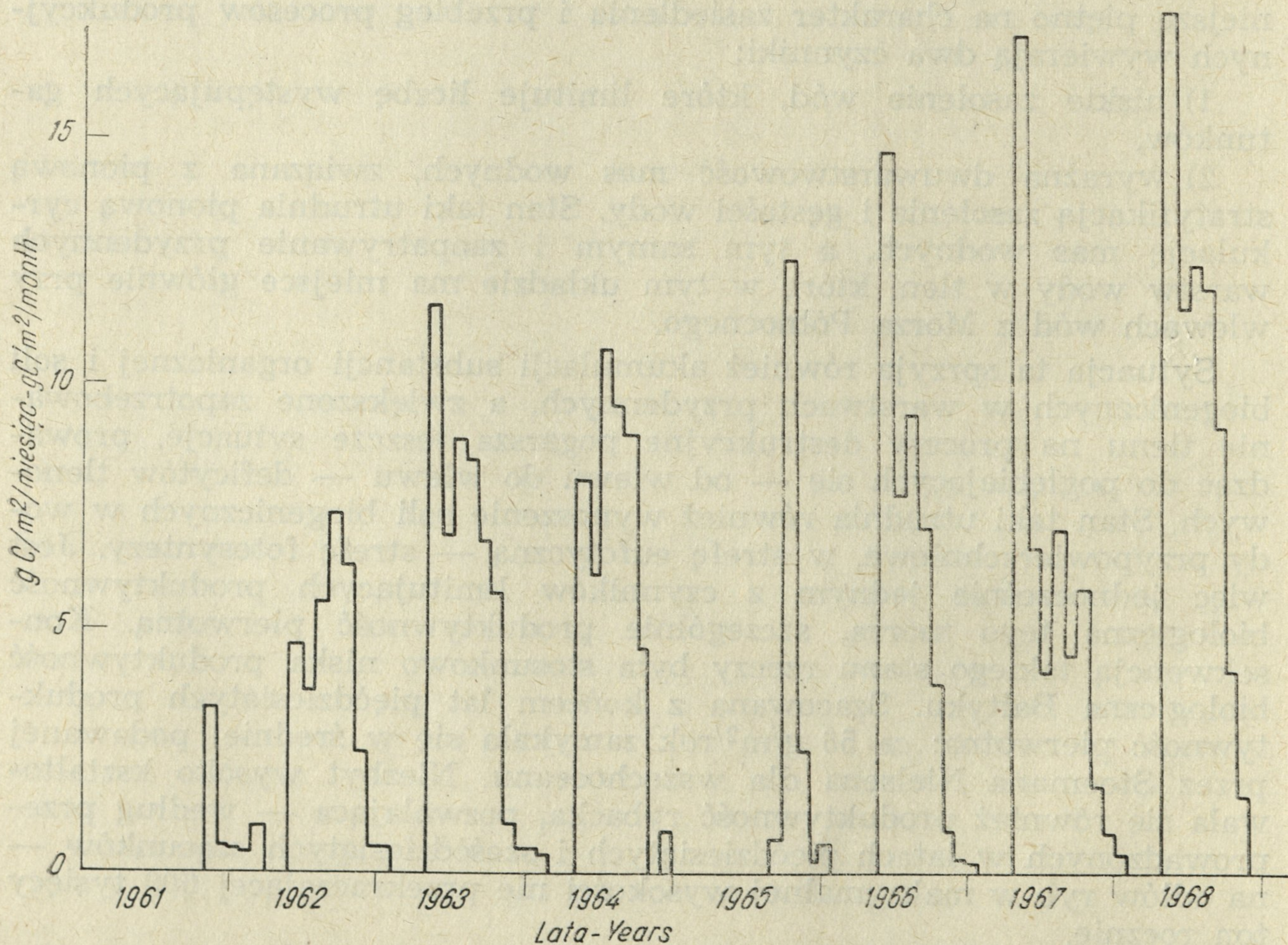


Fig. 1. Miesięczne wartości produkcji pierwotnej w Bałtyku w latach 1961—1968, skalkulowane w oparciu o badania dokonane z latarniowca „Finngundet” (wg Fonseliusa 1971)

Monthly values of primary production in the Baltic from 1961—1968, calculated from studies made from the lightship “Finngundet” (after Fonselius 1971)

czawszy natomiast od 1971 r., tempo produkcji pierwotnej wykazuje stałą, niewielką tendencję spadkową, mimo to jednak utrzymuje się w dalszym ciągu na znacznie wyższym poziomie niż w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych. Dotyczy to, w każdym razie, wód Bałtyku południowego. Zmiany, jakie zaszły w omawianym okresie w produktywności pierwotnej tego morza, ilustrują najlepiej cytowane niejednokrotnie dane Fonseliusa (1969) (fig. 1). Potwierdzają je obserwacje innych autorów, m.in. również badania polskie (Renk 1972, 1973, Renk, Torbicki i Ochocki 1974).

Jednocześnie jednak ze wzrostem natężenia procesów produkcyjnych fitoplanktonu obserwuje się zmiany w strukturze tego zespołu. Coraz częściej notuje się powstawanie sinic *Aphanizomenon flos-aquae* i *Nodularia spumigena*, ostatnio *Microcystis aeruginosa*. Gatunek ten, o silnie toksycznie działających metabolitach, daje z roku na rok bardziej masowe zakwity w wodach przybrzeżnych i przyujściowych, a więc w wodach o obniżonym zasoleniu (Wiktor i Pliński 1973, Wiktor 1974), w ostatnich latach pojawia się bardzo licznie również w otwartych wodach Bałtyku, szczególnie w Głębi Gdańskiej (Horstmann 1973, Ringer 1974). Przypuszczać należy, że masowe powstawanie sinic są konsekwencją zaburzenia stosunku azotu i fosforu w wodzie bałtyckiej, związanym z nierównomiernym dopływem ich soli.

Skutki tak szybkiego wzrostu produktywności pierwotnej w Bałtyku są różnorakie. Jednym z nich jest wzmożone nagromadzenie się substancji organicznej w osadach dennych i w przydennych warstwach wód, co, przy braku mieszania się wód (cyrkulacji pionowej) i utrudnionym zaopatrywaniu przydennych mas wodnych w tlen, powoduje pogłębianie się deficytu tlenowego. Szczególnie ostro sytuacja taka rysuje się w najgłębszych partiach Bałtyku — Głębi Bornholmskiej, Gdańskiej i Gotlandzkiej.

Zebrane w tym zakresie i przedstawione przez Fonseliusa (1969) materiały dowodzą wyraźnej tendencji spadkowej natlenienia przydennych warstw wód głębi bałtyckich. Spadkowa tendencja utrzymuje się wprawdzie od początku XX wieku, jednak proces ten nasilił się wyraźnie w ostatnim dziesięcioleciu. Dane Fonseliusa dotyczą głównie sytuacji istniejącej w Głębi Gotlandzkiej. Do podobnego jednak wniosku prowadzą zebrane przez Głowinską (1971) materiały, dotyczące Głębi Gdańskiej i Bornholmskiej (fig. 2). Dowodzą one, że w ostatnich latach okresy deficytów tlenowych są w Głębi Gdańskiej coraz dłuższe i zdarzają się coraz częściej, a wyczerpywanie się tlenu po wlewie wód z Morza Północnego następuje coraz szybciej. W Głębi Bornholmskiej notuje się wprawdzie krótsze okresy stagnacji niż w Głębi Gdańskiej, lecz szybciej zachodzi tu wyczerpywanie się tlenu po ustaniu wlewu. Sytuacja taka powoduje coraz częstsze i obejmujące coraz większe obszary skażenia wód przydennych siarkowodorem i stwarza warunki azoiczne w omawianych głębiach bałtyckich (fig. 3).

Analiza danych zawartych w figurze 2 nasuwa jeszcze jeden wniosek, a mianowicie, że jednocześnie z pogłębianiem się deficytu tlenowego wzrasta stężenie fosforu w przydennych warstwach wody. Okresy wzrostu i spadku stężenia fosforanów alternują przy tym wyraźnie z okresami wzrostu i spadku natlenienia wód. Jednak ogólna tendencja zmian wieloletnich — to dwu- trzykrotny wzrost stężenia fosforanów w ostatnim dwudziestolecium (fig. 4).

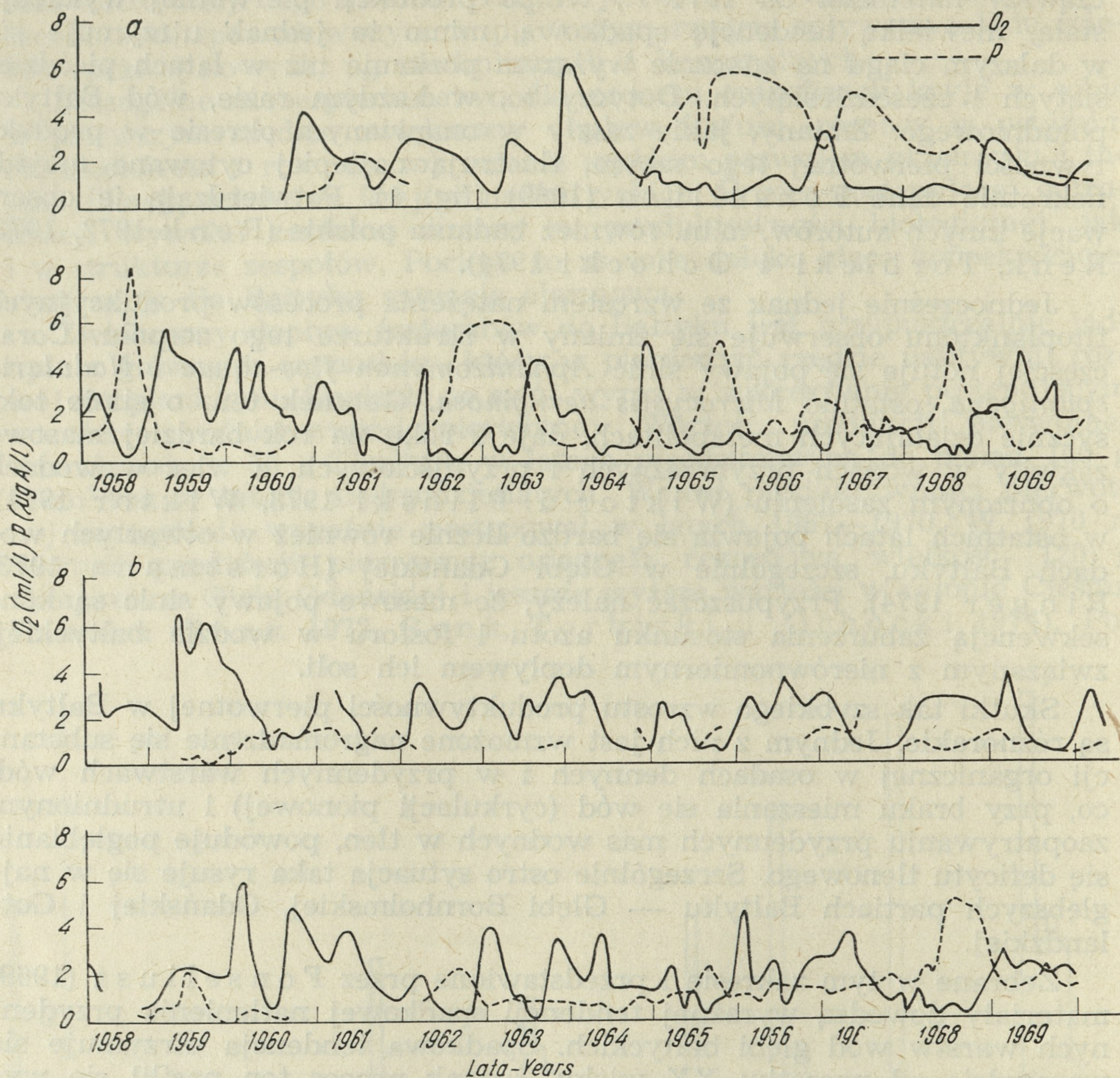


Fig. 2. Zmiany w zawartości tlenu (O_2) i fosforanów (P) przy dnie Głębi Gdańskiej i Bornholmskiej w latach 1946—1969 (wg Głowacińskiej 1971)

a — Głębia Bornholmska, b — Głębia Gdańska

Changes in oxygen content (O_2) and phosphates (P) near the bottom in the Gdansk and Bornholm Deep from 1946—1969 (after Głowacińska 1971)

a — Bornholm Deep, b — Gdansk Deep

Przyczyny tego zjawiska mają niejednolite podłoże, podlegają one zresztą ostatnio gorącym dyskusjom. Wzrost dopływu fosforu ze ściekami z lądu jest — jak należy sądzić — tylko jedną z nich, niemniej jednak dość istotną, zważywszy, iż według orientacyjnych obliczeń roczny spływ z lądu wahał się w latach 1969—1972 w granicach 17 tysięcy ton P (Fonselius 1972).

Pogłębiający się deficyt tlenowy i coraz dłużej trwające okresy całkowitego wyczerpania tlenu w przydennych warstwach wody i na dnie stwarzają niekorzystne warunki dla rozwoju w pierwszym rzędzie fauny dennej. Analiza wieloletnich zmian biomasy fauny dennej, przeprowadzona przez Żmudzińskiego (1971), dowodzi znacznego spadku biomasy na dnie o większych głębokościach, aż do zupełnego zaniku fauny

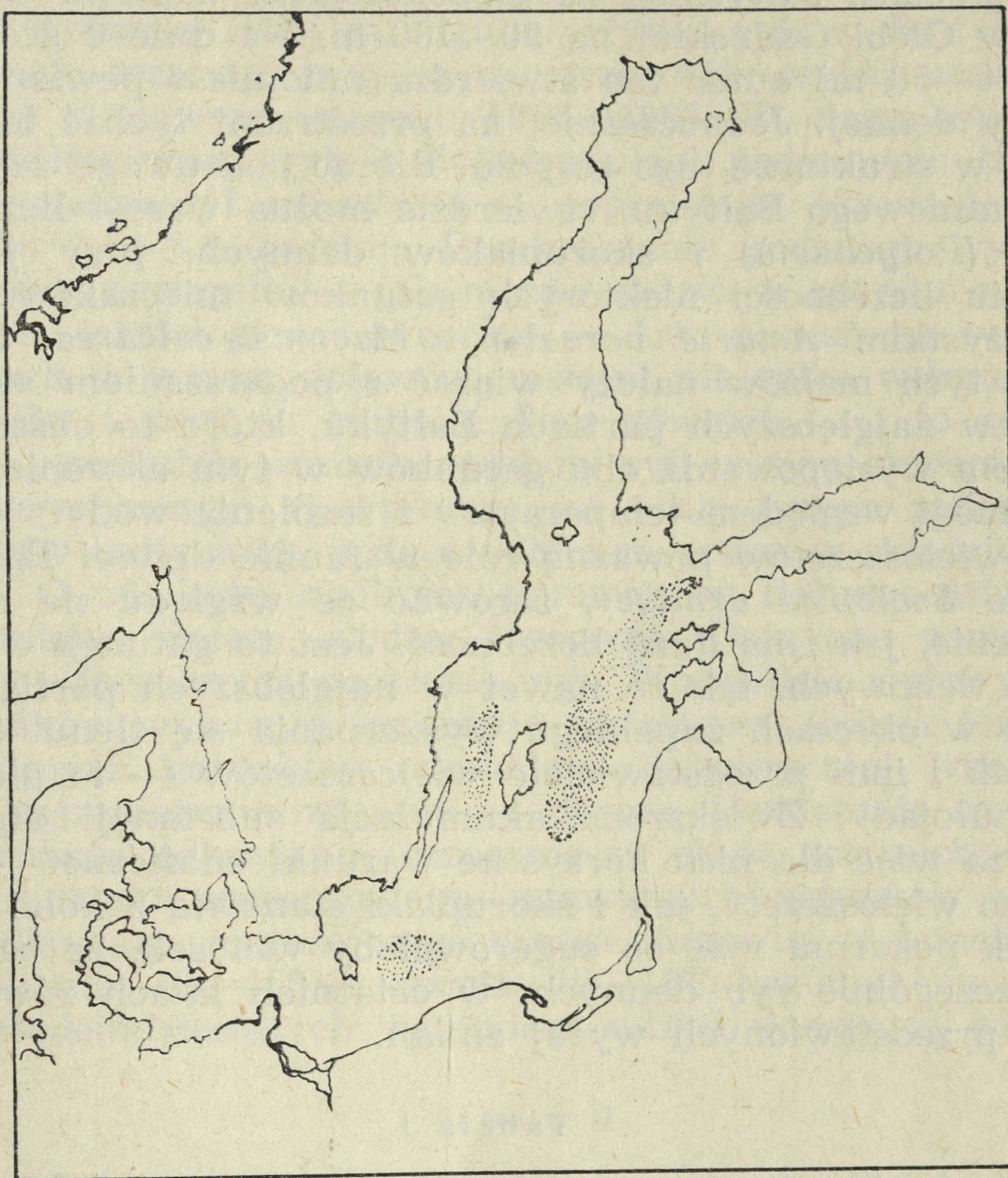


Fig. 3. Obszary dna Bałtyku skażone okresowo lub stale siarkowodorem (wg Fonseliusa 1969)

Parts of the bottom of the Baltic periodically or constantly polluted by sulphuretted hydrogen (after Fonselius 1969)

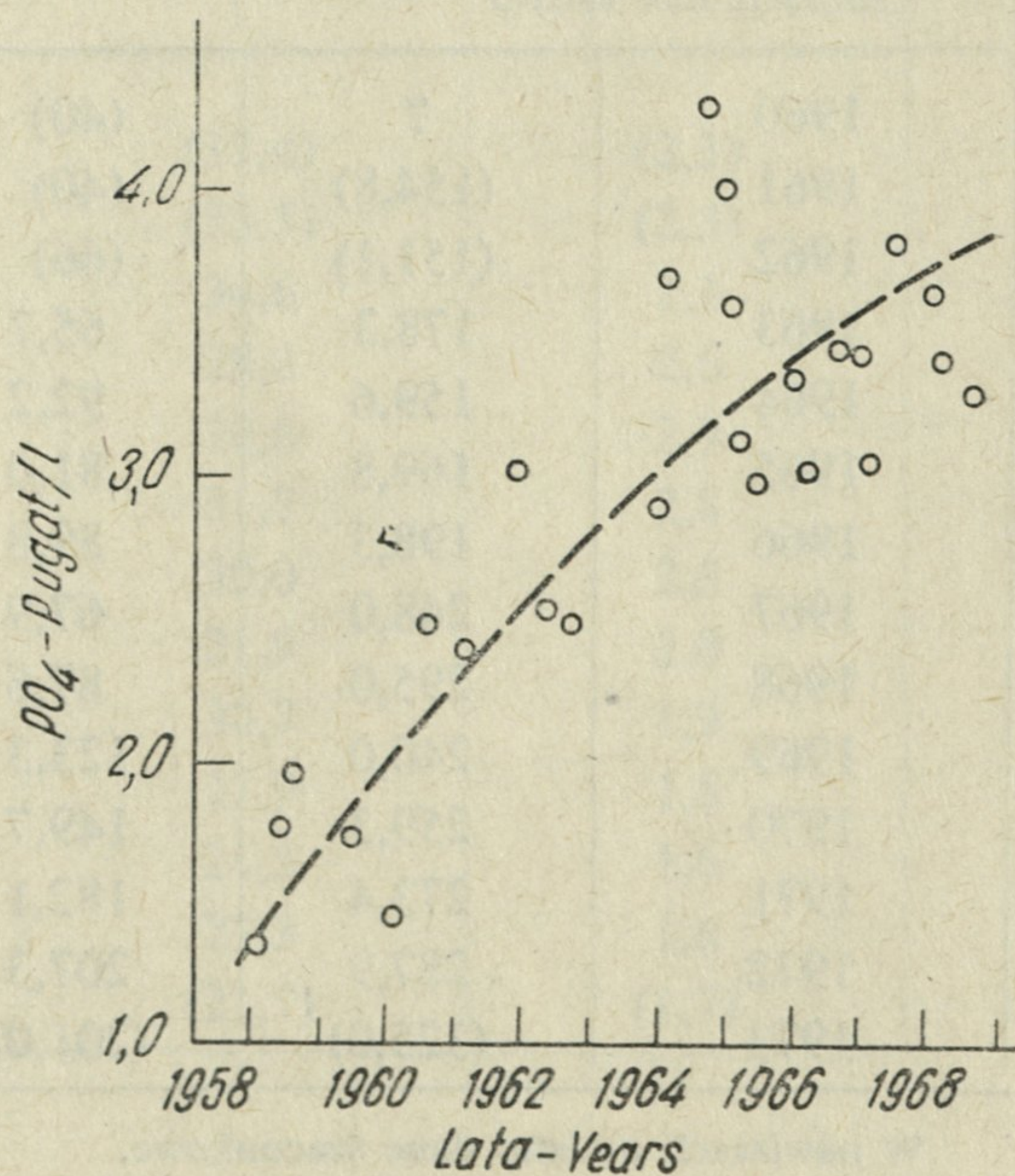


Fig. 4. Zmiany w stężeniu fosforanów w latach 1958—1968 na głębokości 150 m w rejonie Norrköping (wg Fonseliusa 1969)

Changes in concentration of phosphates from 1958 to 1968 at a depth of 150 m off Norrköping (after Fonselius 1969)

Proces postępującej eutrofizacji nie pozostał bez wpływu na produktywność rybacką Bałtyku. Ogólny wyłów ryb w Bałtyku wskazuje stałą tendencję wzrostu, przy czym szczególnie szybki wzrost połowów zaznaczał się począwszy od roku 1966—1967. W ciągu ostatniego dziesięciolecia odłów masy ryb z Bałtyku uległ podwojeniu (tab. I) i już w 1971 r. przekroczył szacowaną w poprzednim okresie górną granicę wyłowu: 600 tys. ton rocznie. Przekroczenie podanego wyżej górnego pułapu odłowu nastąpiło — jak można sądzić w oparciu o prowadzone stale badania ichtiologiczno-rybackie — bez naruszenia wielkości stad podstawowych, a wzrost połowów nastąpił nie tylko wskutek intensyfikacji połowów i postępu techniki, lecz również — i to raczej przede wszystkim — wskutek wzrostu zasobów ryb w tym akwenie.

Charakterystycznym zjawiskiem jest także pewna zmiana w strukturze połowów bałtyckich, będąca odbiciem zmian w składzie ilościowym ichtiofauny. O wielkości ogólnych połowów w Bałtyku decyduje odłów trzech gatunków: dorsza, śledzia i szprota. Dają one ponad 95% globalnej masy odławianych corocznie ryb. Wprawdzie wyłowy wszystkich trzech gatunków wykazują tendencję wzrostową, jednak tempo wzrostu jest dla różnych gatunków odmienne. Najwyraźniej wzrosły odłowy szprota, w najmniejszym stopniu — dorsza. Uwidacznia się to zarówno przy porównaniu odławianej corocznie w ciągu ostatnich 10 lat masy ryb, jak i udziału procentowego omawianych gatunków w połowach. I tak np. odławiana rocznie masa dorsza stanowiła w latach 1961—1962 ca 35%, śledzia 43—45%, szprota 12—18% ogólnej masy połowów. W latach siedemdziesiątych natomiast udział dorsza w ogólnej masie

Tabela II

Udział (w procentach) śledzia, szprota i dorsza w połowach w Bałtyku właściwym w latach 1961—1973

Participation (in per cent) of herring, sprat and cod in catches in the Baltic proper from 1961 to 1973

Rok Year	Śledź Herring	Szprot Sprat	Dorsz Cod	Inne morskie gatunki Other sea species
1961	(49,4)	(12,8)	(37,4)	(2,3)
1962	(42,6)	(18,9)	(35,5)	(2,3)
1963	46,2	17,1	34,6	2,1
1964	43,7	25,1	28,8	2,6
1965	44,8	21,4	30,8	2,9
1966	45,0	20,4	31,7	2,8
1967	53,0	14,5	30,0	2,3
1968	52,5	15,6	21,9	2,0
1969	44,6	22,9	30,7	1,9
1970	44,5	25,7	27,9	1,8
1971	46,1	30,7	21,5	1,6
1972	43,6	31,3	23,3	1,8
1973	(47,2)	(29,3)	(21,7)	(1,7)

W nawiasach podano dane szacunkowe.

Estimated figures are given in brackets.

połowów spadł do dwudziestu kilku procent, a szprota wzrósł do ca 30% (tab. II). Udział śledzia w ogólnej masie połowów utrzymał się mniej więcej na tym samym poziomie, co w latach sześćdziesiątych.

Tak duży wzrost odłowów szprota należy bezsprzecznie wiązać ze wzrostem jego zasobów, niezależnie od przyczyn ekonomicznych. Zwrócić przy tym należy uwagę na fakt, że szprot, jako ryba o krótkim cyklu życiowym, stojąca na niezbyt odległym od pierwszego poziomie troficznym, może reagować najszybciej na wszelkie zmiany, jakie zachodzą w warunkach środowiska. Uintensywnienie procesów produkcyjnych planktonu — w tym i zooplanktonu, będącego głównym pokarmem szprota — nie pozostało bez wpływu na warunki edaficzne tej typowo planktonożerne ryby. O znacznej poprawie warunków edaficznych szprota można wnioskować chociażby ze wzrostu ilości odkładanego tłuszczu, która zwiększyła się od ca 16% średnio w latach pięćdziesiątych do ca 20% w ostatnim 10-leciu (Elwertowski, Giedz i Maciejczyk 1974).

Ponadto, zarówno szprot jak i śledź, jako ryby pelagiczne, nie są bezpośrednio narażone na skutki pogłębiających się deficytów tlenowych w przydennych warstwach wody, o czym była poprzednio mowa.

Ta tendencja do zmian w strukturze połowów będzie się przypuszczalnie nie tylko utrzymywała, ale nasilała. Tym bardziej, że w związku z pogłębiającymi się deficytami tlenowymi w głębiach bałtyckich — głównych arealach tarliskowych dorsza — pogorszeniu ulegają warunki rozrodu tej ryby, a szczególnie warunki rozwoju ikry.

Tak więc zjawisko postępujące eutrofizacji pociąga za sobą bardzo rozległe i różnorodne skutki. Dotychczasowym jego efektem jest wzrost produktywności biologicznej, widoczny na poszczególnych poziomach troficznych i w poszczególnych zespołach, w tym również produktywności rybackiej. Równoległe zachodzą także zmiany w strukturze zespołów, co z kolei pociągać musi za sobą pewne modyfikacje w łańcuchach pokarmowych. Wzrost eutrofizacji powoduje jednak również pogłębianie się deficytów tlenowych i stałe, choć powolne, rozszerzanie się stref azoicznych w Bałtyku, a zaburzenia w strukturze zespołów objawiają się m.in. również pojawem zakwitów o charakterze toksycznym. Nasilenie eutrofizacji wywołuje więc jednocześnie wyraźnie negatywne następstwa.

Najistotniejsze dla powstrzymania narastającego procesu eutrofizacji byłoby ograniczenie dopływu fosforu do Bałtyku. Jest to jednocześnie jedno z trudniejszych zadań. Stężenie fosforu w ściekach przemysłowych, komunalnych i rolniczych w ostatnim dziesięcioleciu ulegało stałemu zwiększaniu. Dalsze zwiększanie dopływu fosforu powodować będzie stosowanie, na coraz szerszą skalę, związków fosforoorganicznych jako środków ochrony roślin.

Piśmiennictwo

- Elwertowski J., Giedz M., Maciejczyk J. 1974 — Zmiany zawartości tłuszczów w szprocie bałtyckim w minionym 25-leciu — *Oceanology*.
- Fonselius S. H. 1969 — Hydrography of the Baltic Deep Bassins. III. Fish. Board Sveden — S. Hydrogr. Rep. 23: 1—92.
- Fonselius S. H. 1971 — On primary production in the Baltic — ICES C. M., 1971 L 16: 1—3.

- Fonselius S. H. 1972 — On biogenic elements and organic matter in the Baltic — *Ambio Sp. Rep.* 1: 1—6.
- Głowińska A. 1971 — Stany hydrologiczne pdn. Bałtyku — *Prace morsk. Inst. ryback. w Gdyni, Tom Jubil.* 201—232.
- Horstmann U. 1973 — Eutrophication effects and mass production of blue-green algae in the Baltic — *Third Balt. Symp. Marine Biol. Helsinki, June 11—17, 1973*, 1—3.
- Renk H. 1972 — Primary production and chlorophyll content in the Baltic Sea — *ICES, C.M. 1972 L 8*: 1—3.
- Renk H., Torbicki H., Ochocki S. 1974 — Phytoplankton primary production of the Baltic Sea — *ICES, C.M. 1974 L 8*: 1—7.
- Ringer Z. 1974 — Results of quantitative investigation on the phytoplankton distribution in the southern Baltic for 1973 — *ICES C.M. 1974 L 9*: 1—5.
- Wiktor K. 1974 — Zmiany w biocenozach wód przybrzeżnych i przyujściowych Bałtyku jako wynik wzrostu zanieczyszczeń — *Oceanology*.
- Wiktor K., Pliński M. 1973 — Changes in the development of plankton as effect of the eutrophication of Baltic estuarian waters — *Third Balt. Symp. Marine Biol. Helsinki, June 11—17, 1973*, 1—5.
- Żmudziński L. 1971 — Wzrost zasobów fauny dennej w Bałtyku — *Prace morsk. Inst. ryback. w Gdyni, Tom Jubil.* 285—307.

Summary

Attention has been drawn in this paper to the results of the progressive eutrophication of the Baltic Sea due to the increasing influx of biogenetic substances (chiefly phosphorus) from the land (Figs 2 and 4).

Progressive eutrophication brings about an increase in biological productivity, manifested in this body of water in successive trophic levels (Fig. 1). The effect of this state of affairs is also increase in fishing productivity (Tab. 1). This phenomenon is accompanied by simultaneous changes in the structure of groups (Tab. II), which in certain cases are extremely unfavourable to the whole biocenosis (e.g. the increasing blooming from year to year of blue-green algae, this including *Microcystis aeruginosa*, a species with metabolites exerting a toxic effect).

The increase in the degree of eutrophication of the Baltic Sea is also linked with the more intensive accumulation of organic substances on the bottom and the layers of water near the bottom which — with the increasing difficulty of oxygen access to these layers — leads to intensification of oxygen deficit and constant, although slow, extension of azoic zones (Figs 2 and 3).

Taken generally it must be emphasised that despite the apparently favourable effect of the increase in biological productivity observed at the present time, the results of progressive eutrophication of the Baltic Sea may be equally as dangerous to these waters as the results of the effects exerted by pollution of a different type (extension of azoic zones, changes in the structure of groups ichtiofauna etc., which are unfavourable from the economic point of view).

The most important, although simultaneously very difficult, task to be carried out in order to prevent continuation of the eutrophication process would be to limit the influx of phosphorus into the Baltic.