

О. ROOTS

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ГОДОВОГО БАЛАНСА ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ ДЛЯ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

(Представил О. Эйзен)

Водный баланс Балтийского моря (км^3 в год) выражается уравнением:

$$\Theta_1 + P + \Theta_3 = E + \Theta_2,$$

где Θ_1 — приток речных вод;
 P — осадки над морем;
 Θ_3 — приток из Северного моря;
 E — испарение с поверхности моря;
 Θ_2 — отлив в Северное море.

По данным А. Войлио и В. Дюберна, водный баланс Балтики следующий (км^3 в год):

$$500 + 200 + 580 = 180 + 1100 \text{ [1]}$$

$$470 + 200 + 430 = 180 + 920 \text{ [2]}$$

Общая площадь моря $365\,300 \text{ км}^2$ и объем $21\,920 \text{ км}^3$ [3].

Для изучения вопроса циркуляции полихлорированных бифенилов (ПХБ) в морской среде нами составлен предварительный годовой баланс этих химически устойчивых веществ для всей акватории Балтики:

а) приход: $\Theta_1 c_p + \Theta_4 c_{\text{ст}} + \Theta_8 c_{\text{под}} + P c_o$;

б) расход: $(\Theta_2 - \Theta_3) c_m + \Theta_6 c_{\text{гид}} + E c'_m + (\Theta_5 - \Theta_7) c_{\text{дон}}$,

где Θ_1 — приток речных вод;
 Θ_2 — отлив в Северное море;
 Θ_3 — приток из Северного моря;
 Θ_4 — сбросы сточных вод;
 Θ_5 — количество осажденных за год донных отложений;
 Θ_6 — количество выловленных за год гидробионтов;
 Θ_7 — количество продуктов эрозии дна и абразии берегов;
 Θ_8 — подземный сток;
 E — испарение с поверхности моря;
 P — осадки над морем;
 c_p — концентрация ПХБ в речной воде;
 c_o — концентрация ПХБ в осадках;
 $c_{\text{под}}$ — концентрация ПХБ в подземном стоке;
 $c_{\text{ст}}$ — концентрация ПХБ в сточной воде;

- $C_{\text{дон}}$ — концентрация ПХБ в донных отложениях;
 $C_{\text{гид}}$ — концентрация ПХБ в гидробионтах;
 $C'_{\text{м}}$ — концентрация ПХБ в поверхностной пленке морской воды;
 $C_{\text{м}}$ — концентрация ПХБ в морской воде Датских проливов.

Приток ПХБ в Балтийское море осуществляется главным образом четырьмя путями: из атмосферы, речным стоком, сточными водами и подземным стоком. Средний месячный приток ПХБ из атмосферы в поверхностные слои моря составляет 2000 нг/м^2 (около промышленных районов южной Балтики даже до $10\,000 \text{ нг/м}^2$) [4]. Каждый год в Балтийское море поступает из атмосферы $8,80 \text{ т}$ химиката. Средний годовой речной сток составляет $440\text{—}472 \text{ км}^3$ [3]. По данным М. Ахнхоффена и Б. Йозефсона [5], концентрации ПХБ в речной воде колеблются в пределах $0,3\text{—}1,2 \text{ нг/л}$ [5], следовательно, с речным стоком в море поступает $0,13\text{—}0,57 \text{ т}$ ПХБ.

Общее количество полихлорированных бифенилов, попавших в Балтийское море со сточными водами, можно вычислить косвенным путем. Прямое отношение к попаданию хлорорганики в морскую среду имеют судовые краски, суммарное количество которых (15 т) использовали в 1969 году в Швеции [6]. Если считать, что в морскую среду Балтики попадает около 1% этого количества и что прибрежная зона Швеции охватывает одну треть общей береговой линии Балтики, то судовые краски выделяют в море $0,45 \text{ т}$ ПХБ. Ученные запасы ПХБ в Балтике составляют $1620\text{—}1770 \text{ т}$ (вычислены в расчете на чистый вес вещества). Почти 90% этих запасов используется в закрытых системах (для трансформаторных масел и т. д.), поэтому количество ПХБ в сточных водах ничтожно мало ($0,01\%$). Ежегодно вместе со сточными водами поступает суммарно не более $0,63 \text{ т}$ ПХБ (в ряде стран использование и ввоз полихлорированных бифенилов строго контролируются, поэтому в ближайшее время их количество в сточных водах должно понизиться). Подземным стоком можно пренебречь, так как в общем стоке он играет незначительную роль ($3\text{—}4 \text{ км}^3$ в год) [7].

Расход ПХБ Балтийского моря совершается четырьмя путями: испарением, отливом в Северное море, вылавливанием гидробионтов и осаждением на дно моря. Морские испарения ежегодно составляют 180 км^3 при средних концентрациях ПХБ на поверхностной пленке моря $20\text{—}25 \text{ нг/л}$. Суммарное количество хлорорганики, поступающей в атмосферу, $3,6\text{—}4,5 \text{ т}$ в год. Концентрации ПХБ в морской воде Центральной Балтики и в Датских проливах, по нашим данным и данным других авторов, колеблется в пределах $1,4\text{—}9,9 \text{ нг/л}$ (в среднем $5,6 \text{ нг/л}$) [8, 9]. Таким образом, отлив в Северное море выносит $2,7\text{—}2,9 \text{ т}$ ПХБ.

Годовые уловы рыбы и беспозвоночных составляют $928\,880 \text{ т}$ [10, 11]. При средних концентрациях ПХБ в гидробионтах $0,25\text{—}0,40 \text{ мг/кг}$ [12—14] общее количество бифенилов в выловленных гидробионтах составляет $0,23\text{—}0,37 \text{ т}$.

Рассчитаем годовой баланс полихлорированных бифенилов для Балтийского моря.

Приход:

Общее количество, т

атмосферный приток	8,80
речной сток	0,13—0,57
сточные воды	0,61—0,63
приток из Северного моря	2,41—3,25

Расход:	Общее количество, т
отлив в Северное море	5,15—6,16
вылавливание гидробионтов	0,23—0,37
испарение с поверхности моря	3,60—4,50
осаждение с взвешенными веществами	0,15—0,41

Очень трудно определить общее количество осаждаемых на дно взвешенных веществ. Определяемая величина представляет собой разницу осаждаемых на дно веществ и веществ, поступающих со дна в воду. По данным [7], годовая разница составляет $5,1 \times 10^6$ т терригенного осадочного материала. Концентрации ПХБ в донных отложениях Балтики (в верхнем слое) 30—80 нг/г [15]. На дно осаждается каждый год 0,15—0,41 т ПХБ.

Полученные результаты показывают, что разница прихода и расхода составляет 0,51—4,12 т. Если это количество равномерно распределить в общем объеме морской воды, то увеличение концентрации ПХБ в ней не может быть значительным, максимум 0,18 нг/л в год. Но нельзя забывать, что источники загрязнения ПХБ в Балтийском море локальны, поэтому концентрации могут увеличиваться в этих районах моря на несколько порядков. В дальнейшем при расчете годового баланса циркуляции ПХБ в морской среде основное внимание следует уделить границам разделов: атмосфера—поверхностные слои моря и морское дно—придонный слой.

ЛИТЕРАТУРА

- Voipio, A. On the cycle and the balance of phosphorus in the Baltic Sea. — Suomen Kemistilehti, 1969, v. A-42, p. 48—53.
- Dybern, B. I. Pollution in the Baltic. — FAO Technical Conference on Marine Pollution and Its Effects on Living Resources and Fishing, Rome, 9—18 Dec., 1970, FIR:MP (70), R-3, 1970, p. 1—17.
- Ярвекюльг А. Донная фауна восточной части Балтийского моря. Таллин, 1979, с. 27—33.
- Södergren, A. PCB in airborne fallout. — In: PCB Conference 2, Stockholm, 1972, p. 15—18.
- Ahnhoff, M., Joseffson, B. PCB in Göta River water. — Ambio, 1975, v. 4, p. 17—175.
- Jensen, S. The PCB story. — Ambio, 1972, v. 1, N 4, p. 123—131.
- Гуделис В. К., Емелянов Е. М. Геология Балтийского моря, Вильнюс, 1976, с. 120—187.
- Osterroht, C. Dissolved PCB-s and chlorinated hydrocarbons insecticides in the Baltic, determined by two different sampling procedures. — Marine Chem., 1977, v. 5, p. 113—121.
- Stadler, D. F. Chlorinated hydrocarbon in the seawater of the German Bight and the western Baltic in 1975. — Dtsch. hydrogr. Z. 1977, H. 6, p. 189—215.
- International council for the exploration of the sea. — In: Cooperative research report. Denmark, 1979, N 85, p. 131—149.
- Kihlstrom, J. E., Berglund, E. An estimation of the amounts of the PCB in the biomass of the Baltic. — Ambio, 1978, v. 7, N 4, p. 175—178.
- Роотс О. О., Пейкре Э. А. О содержании полихлорированных бифенилов и хлорорганических пестицидов в рыбах Балтийского моря. — Изв. АН ЭССР. Хим., 1978, т. 27, № 3, с. 193—196.
- International council for the exploration of the sea. — In: Cooperative research report. Denmark, 1977, N 63, p. 1—79.
- Jensen, S., Johnels, A., Olsson, M., Otterlind, G. DDT and PCB in herring and cod from the Baltic, the Kattegat and the Skagerrak. — Ambio (Special Report), 1972, N 1, p. 71—87.
- Oden, S., Berggren, B. PCB and DDT in Baltic sediments. The 2nd Swedish-Soviet Symposium on protection of the Baltic from pollution, Riga 1973, p. 1—10.

O. ROOTS

LÄÄNEMERES SISALDUVATE POLÜKLOREERITUD BIFENÜULIDE AASTASE
BILANSI ARVUTAMINE

Artiklis esitatud andmeil toimub polükloreeritud bifenüülide (PCB) juurdevool Läänemerre nelja teed pidi: atmosfäärist (8,8 tonni aastas), jõgedega (0,13—0,57 t), heitvetega (0,61—0,63 t) ja Põhjamerest (2,41—3,25 t). Ka PCB eraldumine mereveest toimub neljal viisil: aurumine mere pinnalt (3,6—4,5 t), sadestumine mere põhja hõljumiga (0,15—0,41 t), väljapiütud kalade ja molluskitega (0,23—0,37 t) ja väljavooluga Põhjamerre (5,15—6,16 t).

O. ROOTS

PRELIMINARY INVESTIGATION OF THE ANNUAL BALANCE OF
POLYCHLORINATED BIPHENYLS (PCB) IN THE BALTIC SEA

The author compiled the annual balance of PCB in the Baltic. The inflow of PCB in the Baltic proceeded in four ways: in the atmosphere (8.8 t), with the water of rivers (0.13—0.57 t), with the sewage (0.61—0.63 t) and inflow of water from the North Sea (2.41—3.25 t). The outflow of PCB proceeded likewise in four ways: by evaporation on the surface of the sea (3.6—4.5 t), fallout onto the sea bottom (0.15—0.41 t), with the caught fish and molluscs (0.23—0.37 t) and with outflowing water of the Baltic into the North Sea (5.15—6.16 t).