

# 浙江近海上升流区无机磷酸盐和溶解氧 分布以及相互关系

蒋国昌 王玉衡

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

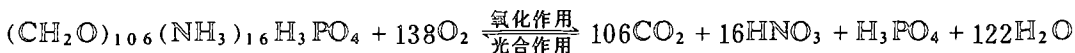
## 摘 要

本文主要探讨了浙江近海上升流区无机  $\text{PO}_4 - \text{P}$  和  $\text{O}_2$  的分布特征以及相互关系。研究表明, 调查海区  $\text{PO}_4 - \text{P}$  高值区主要存在于沿岸区和  $\sigma_t$  跃层至底部, 而盐度锋以外海区近表层  $\text{PO}_4 - \text{P}$  和  $\text{O}_2$  含量低。这些分布特征与夏季沿岸锋和上升流锋的出现密切相关; 10m 以浅的沿岸区表观产氧量(AOP) 高是光合作用强的结果, 而沿岸区营养盐丰富又是产生强光合作用的主要原因之一。并且发现4号断面30m 以浅叶绿素 *a* 和浮游植物生物量随  $\text{PO}_4 - \text{P}$  含量增加而增加。 $\sigma_t$  跃层以下, AOU 与  $\text{PO}_4 - \text{P}$  之间存在着较好的线性关系, 而且从直线斜率获得  $\Delta\text{O}_2/\Delta\text{P}$  为 200:1 原子单位比。

海水中  $\text{PO}_4 - \text{P}$  和  $\text{O}_2$  含量的变化和分布, 是具有一定规律性和相关性, 这与它们在海洋中直接受生物活动影响密切相关<sup>[1,2]</sup>。夏季水体垂直稳定, 海水分层明显,  $\sigma_t$  跃层以上, 浮游植物大量繁殖时,  $\text{PO}_4 - \text{P}$  含量可以使之消耗殆尽, 此时水中氧含量增加;  $\sigma_t$  跃层以下, 有机质分解使  $\text{PO}_4 - \text{P}$  含量增高, 氧含量降低<sup>[2-4]</sup>。海水中  $\text{PO}_4 - \text{P}$  含量, 受大陆径流水影响而增高<sup>[1, 2, 5]</sup>。

海水中  $\text{PO}_4 - \text{P}$  和  $\text{O}_2$  的分布, 也受上升流影响, 因为上升流将新鲜营养物质补充到透光层, 使营养盐得到补充, 提供了有利于浮游植物生长的条件<sup>[6,7]</sup>。而氧含量受上升深层低氧水混合而下降。其他因素如温度、风引起的海水混合和波浪等过程也能改变氧含量变化<sup>[2, 6, 7]</sup>。

海水中营养物质的消耗或再生将与伴随这些过程所产生或消耗的表观氧的变化有关, 这些相互关系导出海洋中光合作用和氧化作用的化学计算模式<sup>[2,4]</sup>。这一模式可以表示如下。



研究发现深层水中的表观氧消耗与释放出的无机氮和磷酸盐的数量有线性关系<sup>[2]</sup>。

海水近表层溶解氧通常呈现过饱和状态, 这些过量氧叫做表观产氧量(AOP), 表观产

氧量等于表观耗氧量负值<sup>[6]</sup>。表观耗氧量是现场具体条件下氧的饱和含量 ( $C'_{O_2}$ ) 与现场测的氧含量 ( $C_{O_2}$ ) 之差。

$$AOU = C'_{O_2} - C_{O_2}$$

这一概念是由Redfield (1942) 引进的<sup>[4]</sup>。

$PO_4 - P$  是浮游植物生长的三大要素之一，与海洋初级生产力有着密切关系；而  $O_2$  含量是初级生产力高低的一个重要标志<sup>[1,2,6]</sup>。因而，研究无机磷酸盐、 $O_2$  在渔场区的分布以及相互关系，有重要的意义。

## 一、观测区域和分析方法

本文资料是1981年8月浙江近海 ( $27^{\circ}30' - 30^{\circ}30' N$ ,  $124^{\circ} E$  以西海域) 25个站位中获得的。站位布设如图1所示。

海水中无机磷酸盐以磷钼蓝法测定，用 GLZ - 1 型船用分光光度计，在船上进行现场测定。溶解氧以碘量法 (Winkler) 测定。硫代硫酸钠溶液浓度，用国家海洋局第二海洋研究所生产的碘酸钾标准溶液标定。船上进行现场测定。叶绿素 a 是由本所生物室测定。

## 二、结 果

无机磷酸盐、溶解氧的典型平面分布、断面分布如图2—4所示。

### (一) 无机磷酸盐 ( $PO_4 - P$ )

由平面和断面分布图可见， $PO_4 - P$  总分布趋势，是沿岸含量较高，逐渐向外递减。10m 以浅， $PO_4 - P$  等值线处于沿岸和北部海域，且梯度较大，如8141至8142站，表层  $PO_4 - P$  含量由  $0.24 \mu g - at/l$  下降为  $0.02 \mu g - at/l$ 。除沿岸区  $PO_4 - P$  含量较高外，其余海域皆在  $0.05 \mu g - at/l$  以下，甚至个别站位其含量在仪器检出限以下。10m 以下各层等值线外移， $PO_4 - P$  含量由上向下递增；大约在  $29^{\circ} N$  和  $123^{\circ} E$  左右，上升流把深层富  $PO_4 - P$  水团带至10m左右，在不同深度上  $PO_4 - P$  存在着较大的垂直梯度。如8142站20—30m， $PO_4 - P$  含量由  $0.11$  增至  $0.74 \mu g - at/l$ 。上述分布特征，从断面图中可以看得更为清晰。

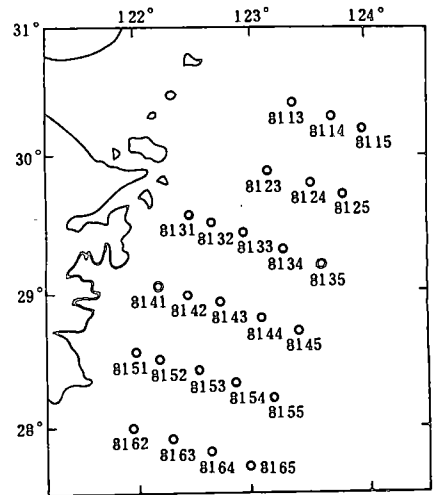


图1 浙江近海上升流区调查站位

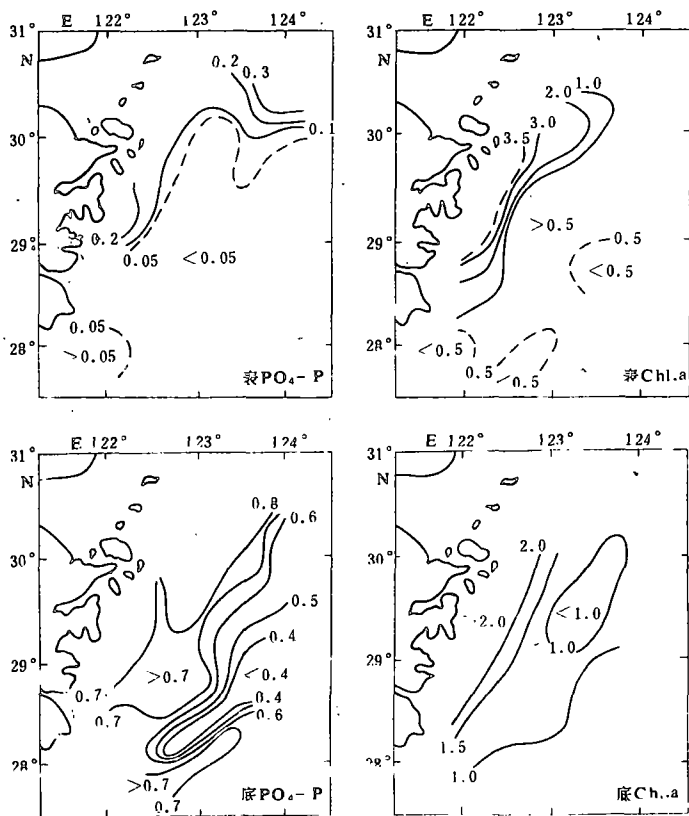


图2 无机 $PO_4-P$ 和叶绿素a含量表底平面分布

## (二) 溶解氧 ( $O_2$ )

$O_2$ 总分布趋势,是沿岸 $O_2$ 含量高,外海低。10m以浅的沿岸区, $O_2$ 含量等值线密集,形成很大梯度,如8141站至8142站,表层 $O_2$ 含量自6.65降为4.83ml/l。外海区近表层 $O_2$ 含量下降,其值小于4.8ml/l,但是在8143站10m层左右,有大于5.2ml/l块状区存在。在 $\sigma_t$ 跃层区, $O_2$ 含量垂直梯度大,并向深层急剧下降。

$\Delta O_2$ 分布趋势与 $O_2$ 分布非常吻合。10m以浅的沿岸区,AOP高,等值线密集,如8141站表层为2.00ml/l。外海区近表层AOP低,其值小于0.40ml/l。在 $\sigma_t$ 跃层区,AOP急剧下降至零值,而AOU向深层迅速增高。底层AOU平面分布与 $O_2$ 完全呈现相反分布规律。

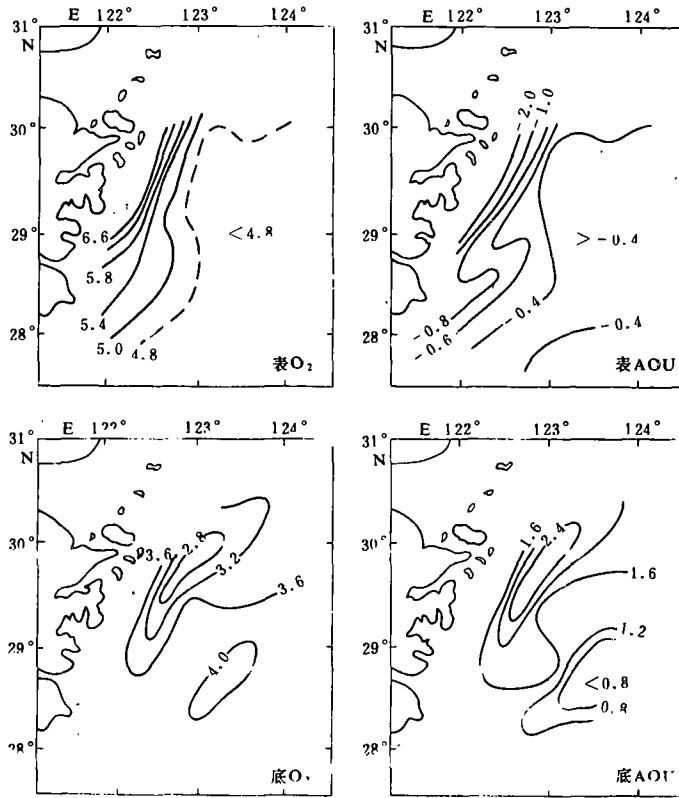


图3 溶解氧和表观耗氧量表底平面分布

### (三) $\text{PO}_4 - \text{P} - \Delta\text{O}_2$ 的相关性

根据上述 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 和 $\text{O}_2$ 的分布特征，为了进一步描述 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 与 $\Delta\text{O}_2$ 之间的相互关系，进行回归分析。由图5，6可见， $\text{AOP} - \text{PO}_4 - \text{P}$ 之间不存在相互关系，大多数点集聚于轴的下角。而 $\text{AOU}$ 与 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 之间存在着较好的正线性关系， $\text{PO}_4 - \text{P}$ 含量随着 $\text{AOU}$ 增加而增高。回归方程如下：

$$\text{PO}_4 - \text{P} = 0.08 + 0.0037 \text{ AOI}$$

相关系数为  $r = 0.87 (n = 61)$ 。

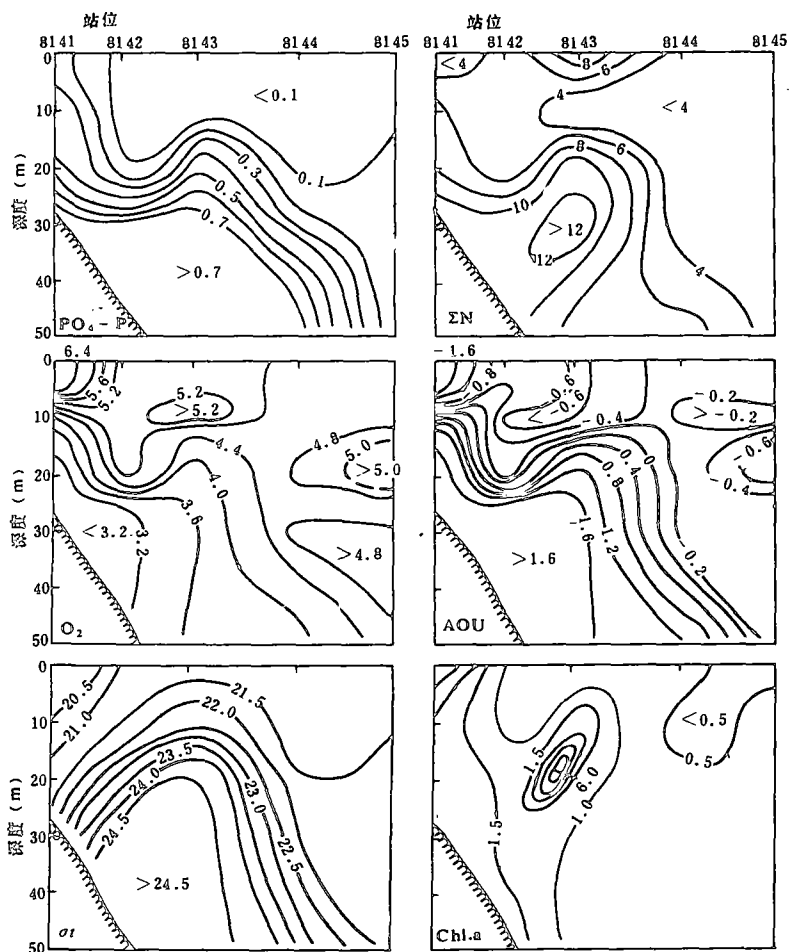


图4 无机 $PO_4-P$ 、 $O_2$ 、 $\sigma_t$ 和Chl.a断面分布

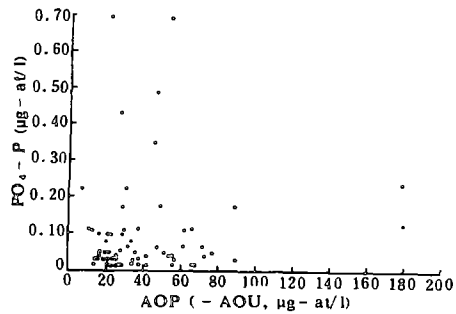


图5  $PO_4-P$ -AOP相关图

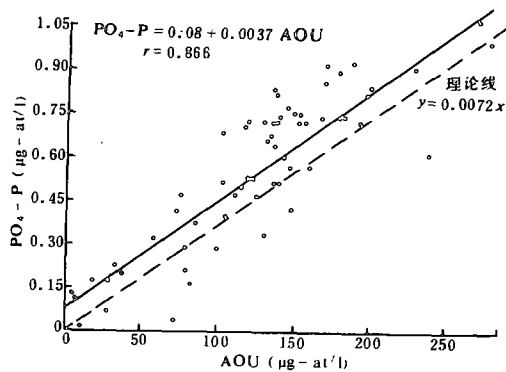


图6  $PO_4-P$ -AOU相关图

### 三、讨 论

浙江近海显示了较为复杂的 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 和 $\text{O}_2$ 分布特征以及相互关系。这与研究海区存在着浙江沿岸水、台湾暖流上层水和深层水，以及丰富的生物资源密切相关。从盐度分布(图7)可见，调查海区受沿岸低盐水团( $S < 30$ )的影响，南部离岸较近，向东扩展的界限不超过8152站，北部离岸较远，向东扩展超过8113站。这主要与夏季台湾暖流强烈影响本区有关。因此，两个水团交锋混合所形成的沿岸锋<sup>[8,9]</sup>贴岸存在(大约30m等深线)，而由河流携带入海的营养盐被阻积于沿岸区(图3,4)。同时，在 $29^\circ\text{N}$ 附近近海区产生上升流<sup>[8,9]</sup>，把海洋深层丰富的营养盐携带于透光层，使 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 含量出现高值。然而，由于上升流未达表层(图4)，因此台湾暖流深层水与上层水，在不同深度交锋混合，形成上升流锋<sup>[8]</sup>。水体上下垂直稳定，在锋区 $\sigma_t$ 跃层大，从而也导致了 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 和 $\text{O}_2$ 的较大垂直梯度。 $\sigma_t$ 跃层以上， $\text{PO}_4 - \text{P}$ 含量低， $\text{O}_2$ 含量高；下层 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 丰富， $\text{O}_2$ 低(图3,4)。

上升流核心边缘的10m以浅的近岸侧出现最大产氧量(AOP)，这与获得的叶绿素a和浮游生物高值区相吻合<sup>[10]</sup>。这表明沿岸区近表层光合作用强烈，浮游植物大量生长而产氧。而大陆经流源源不断地输送大量营养盐，是促使浮游植物大量生长的主要原因之一。10m以深沿岸侧，AOU和 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 迅速增高，这是大量有机质分解耗氧和浮游动物呼吸作用远远超过光合作用产氧所致，并不是上升流深层低氧水混合的结果，这从 $\sigma_t$ 的断面图上可以得到证实(图4)。沿岸锋以外海区10m以浅水体中无机 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 含量低，甚至个别站位出现分析零值，N/P原子比大于40以上。因此浮游植物得不到足够营养而生长缓慢(8143—8145站表层叶绿素a平均值为 $0.52\text{mg}/\text{m}^3$ )，从而植物光合作用产氧量降低。但是上升流核心区表层，能以涡动扩散方式，持久地从下层获得一定量营养物质，因此浮游植物生长的营养条件远比外海区优越。上升流锋区营养盐极为丰富(如8143站20m层 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 和总N分别为0.50和 $11.0\mu\text{g-at}/\text{l}$ )，为浮游植物生长摄取提供了充足营养来源。如8143站20m层叶绿素a含量高达 $7.4\text{mg}/\text{m}^3$ 。但是该层 $\text{O}_2$ 含量出现高值，可能由上升流深层低氧水混合所掩盖。

根据上述 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 与生物的紧密关系，我们作了4号断面各站30m以浅 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 、叶绿素a平均值和浮游植物生物量的变化图，从图8可见，叶绿素a和生物量随着 $\text{PO}_4 - \text{P}$ 含量增加而增加。并对5个点作了回归分析，结果也令人满意( $r_{\text{叶}} = 0.96$ ， $r_{\text{生}} = 0.98$ )。

在海洋透光层溶解氧过饱和是光合作用产氧超过呼吸作用的结果<sup>[2,6]</sup>。而氧的产生同时以一定比例摄取营养盐，这与深层表观耗氧

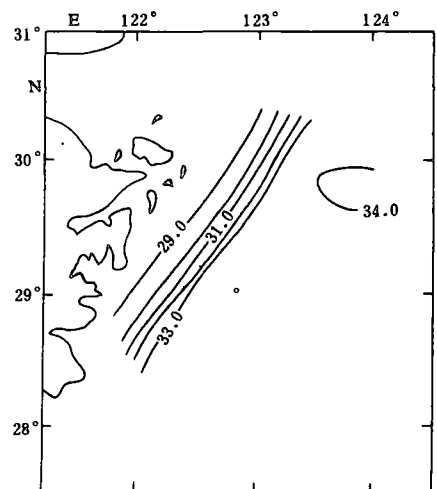


图7 表层S平面分布

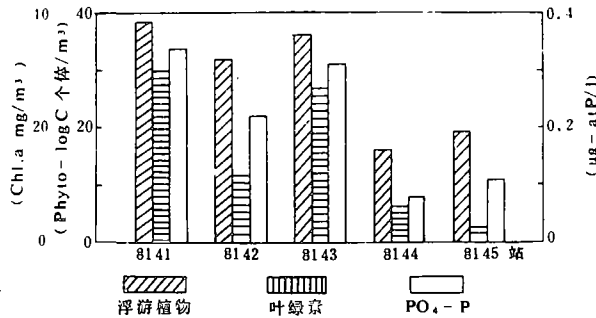


图8 4号断面 $PO_4-P$ 、叶绿素a、浮游植物生物量变化

和营养盐释放的简单比例相类似<sup>[4,6,11]</sup>。而本海区,无机 $PO_4-P$ 与AOP之间无相关性存在,这是由于测的 $PO_4-P$ 含量是生物摄取后所剩下的含量,这些含量主要受物理过程影响。但是从图9中发现,10m以浅海域,AOP—叶绿素a存在着较好的正相关,相关系数为

$r = 0.75$  ( $n = 46$ ),表观产氧量随着叶绿素a含量增加而增大。这一关系进一步说明了10m以浅水体,生物过程是影响氧分布的主要过程。 $\sigma_t$ 跃层以下及沿岸侧近底层,AOU与 $PO_4-P$ 之间存在着较好的线性关系。这一线性关系表明了氧的消耗同时以一定的比例释放无机 $PO_4-P$ 。我们从P— $\Delta O_2$ 图上的直线斜率可以得到 $\Delta O_2/\Delta P$ 值,其值为200原子单位。此值实际上包括了混合作用影响,因此与Redfield的原子比(276:1)偏离较大。但是此值粗略地说明了两个过程:(1)每一磷原子再生约需要消耗200个氧原子;(2)与C。Matsudaira和A.Okubo所报道的黑潮水 $\Delta O_2/\Delta P$ 值基本一致<sup>[3]</sup>。

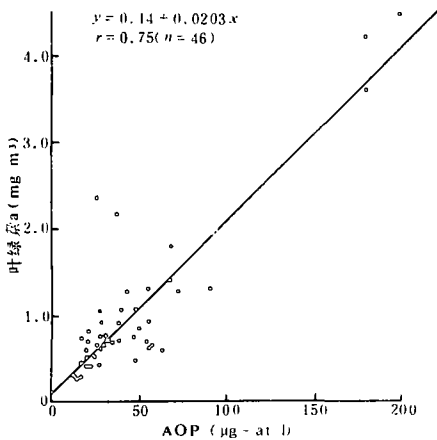


图9 10m以浅AOP—叶绿素a相关图

总之,夏季浙江近海上升流区 $PO_4-P$ 是控制初级生产力高低的重要生源要素之一;而10m以浅光合作用产氧是影响氧含量分布的重要过程;同时,不同性质水系混合交汇所形成的锋区,对产生上述过程又密切相关。

### 参 考 文 献

- [1] Harvey, H. W., *The Chemistry and Fertility of Sea Water*, Cambridge, 1957.
- [2] Riley, J. P., G·S·Skirow, 崔清晨等译, 化学海洋学, 第二卷, 海洋出版社, 1982.
- [3] Sugiura, Y. and H. Yoshimura, Distribution and mutual relation of dissolved oxygen and phosphate in the Oyashio and the northern part of Kuroshio regions *J. Oceanog. Soc. Japan.* 20

- (1963), 14—23.
- [4] Pytkowicz, R. M., On the apparent oxygen utilization and the preformed phosphate in oceans, *Limnol. Oceanogr.*, **16** (1971), 39—42.
- [5] Stefansson, U. and F. A. Richards, Process contributing to the nutrient distributions off the Columbia River and Strait of Juan de Fuca, *Limnol. Oceanogr.*, **8** (1963), 394—410.
- [6] Stefansson, U. and F. A. Richards, Distributions of dissolved oxygen, density, and nutrients off the Washington and Oregon coasts, *Deep-Sea Research*, **11** (1964), 1—6:355—380.
- [7] Friederich G. H. and L. A. Codispoti, On some factors influencing dissolved silicon distribution over the northwestern African shelf, *J. Mar. Res.*, **37** (1979), 1—4: 337—351.
- [8] 曹欣中等, 中国海洋湖沼学会水文气象学会学术会议 (1980) 论文集, 科学出版社, 1982, 125—136.
- [9] 管秉贤, 第二次中国海洋湖沼科学会议论文集, 科学出版社, 1983, 19—30.
- [10] 何德华等, 浙江沿岸上升流区浮游动物生态研究, *海洋学报*, **9** (1987), 1: 79—92.
- [11] Sharp, J. H. and T. M. Charch, Biochemical modeling in coastal waters of the Middle Atlantic States, *Limnol. Oceanogr.*, **26** (1981), 4—6: 843—854.
- [12] Richards, F. A. and A. C. Redfield, Oxygen—density relationship in the Western North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, **2** (1955), 182—199.