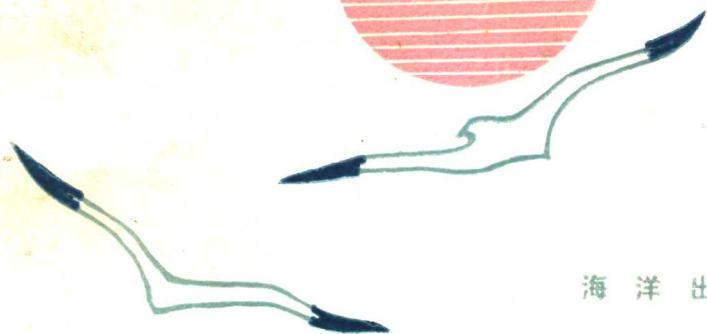
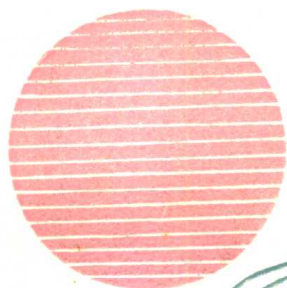


481649

海洋水温预报



Г.格拉哥列娃
И.И.斯克里普图诺娃 著



海洋出版社



海 洋 水 温 预 报

[苏] М.Г. 格 拉 哥 列 娃 著
Л.И. 斯 克 里 普 图 诺 娃

王宗山 徐伯昌 译
翁学传 校

海 洋 出 版 社

1982年·北京

内 容 提 要

书中，评述了苏联和其他国家所建立的短期和长期水温预报方法，讨论了海洋表层水温及其随深度分布的短期预报，分析了解决水温长期预报问题的各种途径，指出了各种因子在形成海洋上层热结构中的作用。

本书可供海洋学工作者以及水文气象学院的学生参考。

ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ОКЕАНЕ

海洋水温预报

[苏]М.Г.格拉哥列娃 Л.И.斯克里普图诺娃 著

王宗山 徐伯昌，译 翁学传 校

海洋出版社出版

(北京复兴门外海贸大楼)

山西新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1983年2月第1版 1983年2月第1次印刷

开本：787×1092 1/32 印张：7 $\frac{9}{16}$

字数：150千字 册数：1—2,000

统一书号：13193·0152 定价：1.20元

译 者 的 话

海洋水温预报的研究，近廿年来，随着渔业、航海和水声工程等应用部门日益增长的需要，以及在水-气圈内探讨海洋与大气的相互作用，在国际上已得到了迅猛的发展，并成为现代海洋学的重要课题之一。但是，据我们所知，在本书问世之前，尚没有一本较系统地综述和评价这方面研究成果的专著。

本书的作者，是国际上知名的海洋水温预报研究专家。书中，主要综述了苏联和欧美等国近廿年的研究成果，述评了基于分析海洋中的各种物理过程和解释研究现象实质方面的理论和实验论著，探索了其进一步发展的途径（其中包括海洋活跃层热结构的计算和预报方法）。全书共分为两篇。第一篇，较系统地评述了单站和大面积水温分布及垂直结构的各种短期预报方法，并讨论了各种预报方法的预报时效和精度；第二篇，着重介绍了受制于大尺度大气特征、地球物理及天体物理等因子的长周期水温变化的预报方法。这些预报方法，主要是根据各种海洋水文气象要素以及地球和天体物理资料，通过物理-统计途径建立的，而理论途径则介绍得较少。因此，本书的实用性较强，对于我国海洋工作者研究中国海和邻近洋区的海洋热结构及其预报方法，具有较高的参考价值。应该说明的是，书中所用的数学符号不够统一，请读者在参阅时注意。

本书，是在陈则实副研究员的热情鼓励下译出的。在翻

译过程中，曾得到许多同志的支持。在此，谨向他们表示诚挚地感谢。

由于译者的业务能力和外语水平所限，译文中不妥乃至谬误之处在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

序.....	(1)
引论.....	(3)
第一篇 短期预报.....	(6)
第一章 海洋水温的变化.....	(6)
1.1 引起海洋水温变化的过程.....	(6)
1.2 水温的短时间变化.....	(14)
第二章 海洋表层水温分布的预报.....	(26)
2.1 水文气象要素场的解析表示.....	(26)
2.2 水温与通过海面热通量之间的关系.....	(37)
2.3 海洋表层水温分布的预报.....	(44)
2.4 预报海洋锋位置的可能性.....	(51)
第三章 水温垂直分布的预报.....	(54)
3.1 计算温度垂直分布特征理论的某些结论的 应用.....	(54)
3.2 对流混合层水温的计算.....	(62)
3.3 风混合深度的计算.....	(72)
3.4 关于海流热平流影响的计算.....	(81)
3.5 根据给定的气象条件预报水温的垂直分布.....	(92)
3.6 基于水温预报的渔情预报.....	(102)
第二篇 长期预报.....	(111)
第四章 长期水温预报方法的基础.....	(111)
4.1 形成海洋热状况的物理过程.....	(111)

4.2 建立长期预报方法的原始资料·····	(120)
第五章 长期水温预报方法·····	(123)
5.1 基于海-气热动力相互作用的水温预报 方法·····	(123)
5.2 基于天体物理关系的水温预报方法·····	(152)
5.3 基于水文现象继承性的水温预报方法·····	(159)
5.4 数值水温预报方法·····	(166)
5.5 为渔业服务的水温预报·····	(185)
结束语·····	(189)
文献目录·····	(193)
附录 I 俄汉专业词汇对照表·····	(200)
附录 II 汉俄专业词汇对照表·····	(218)

序

海洋热状况的预报，长期受到海洋学家和气象学家的关注。人类各种海上活动（渔业、航海船队作业等等）的成功，取决于水温预报的可靠性。

海洋温度场的形成及其变化的预报，在海-气相互作用的课题中占有重要位置。

苏联的 Ю. М. Шокальский、В. Ю. Визе、Н. Н. Зубов、В. В. Шулейкин、А. Д. Добровольский、А. И. Дуванин、В. В. Тимонов、В. Б. Штокман、Н. А. Белинский、А. И. Каракаш、К. И. Кудрявая、Ю. П. Доронин 以及其他学者的具有重大价值的研究，为海洋热状况预报的发展奠定了基础。

最近15—20年来，海洋热学的研究有了较明显的发展。特别是苏联水文气象中心，对海洋状况的研究给予了极大的注意，并且已建立了许多短期、长期和超长期的水温预报方法。如果说，首批著作只是预报个别地点或有限海域，那么，以后则为在大西洋和太平洋北部整个水域，建立水温分布的预报方法创造了条件。由多昼夜连续站和天气船所发现的水温短时间的变化，迫使我们重新估计短期预报的重要性。

刊载在科学杂志、研究所著作集和会议文集上的一些论文，曾介绍了一些水温预报的方法。然而，对这些方法的综述却很少。在国外文献中，对水温预报给予综述的有 T.

Левасту 和 И. Хела 合著的《渔业海洋学》^[77] 和 Р. Джеймс 的《海洋热结构的预报》^[39] 两本书。关于国内水温预报文献的综述，只能在海洋预报教科书中的某些章节和短期预报方法评述快报中才能找到^[36]。

本专著的任务是，评述国内、外水温预报的方法，且在较小的程度上涉及判断性模式。

作者向编写本书时提出宝贵意见的 А. И. Каракаш 表示感谢，并向审阅手稿时提供有益建议的 Е. Г. Никифоров 表示诚挚的感谢。

本书的第一篇《短期预报》由 Л. И. Скриптунова 编写，第二篇《长期预报》由 М. Г. Глаголева 编写。

引 论

国内外海洋学方面的许多重要研究，旨在建立海洋预报的物理-数学基础。计算技术的日臻完善，为使用电子计算机解决复杂的数学问题提供了条件。但是，目前在预报海况特征时，流体动力学模式的应用，仍然是有限的。其障碍是，发生在海洋中的各种过程相当复杂，同时，缺乏相应的水文气象资料。用线性方程描述发生在海洋中的各种过程是不可能的，而引入非线性项又造成数学上的困难。在理论模式中，要考虑局地条件对预报特征变化的影响，要引入大量确定的自变量是很困难的。在流体动力学和热力学方程中所引入的许多参量（例如涡动混合系数和粗糙度参数等）的不定性，也给应用理论模式进行实际计算增添了许多困难。

就目前水平看，在预报工作中所采用的主要方法是物理-统计方法。

应该指出，在上述两种方法之间存在着一定的联系。H. A. Барров 将这两种方法用于天气预报时曾写道：“物理模式构架的本身，就应该建立在已知经验因子的某种综合的基础之上，而模式中的所有参数通常都是用经验-统计方法确定的。……在解决预报问题的第二种途径中，应该要求把大气物理结构，即使是最一般的形式，加到随机模式上”^[9]。毫无疑问，这些意见也适用于海洋水文预报。

随机函数理论的发展、观测资料统计分析实用方法的建立以及现场资料的积累，都促进了物理-统计方法的发展。

目前，用这一方法已具有预报海况的许多特征的可能性。

Р. Джеймс 指出了热结构的预报具有经验性 [39]。

Т. Левасту 和 И. Хела 也指出，渔业海洋学的实际应用是与各种资料的相关分析相联系的 [77]。

大多数的预报方法，不论是流体动力学方法还是统计方法，都是以气象过程对水文要素的影响为基础的。众所周知，海洋也同样影响着大气中的各种过程。因此，研究大气与海洋之间的相互影响是有前途的。联合求解大气圈和水圈的方程式，可以同时计算大气和海洋的特征。考虑外部因子——如宇宙因子和地球物理因子的预报方法，在海洋水文预报中占有特别重要的地位。属于这类外部因子的有：太阳活动性、地轴的摆动以及长周期太阴潮等。研究外部因子及各个水文气象要素和现象变化的周期性，使我们有可能获得长时效的预报方法。

在海洋水文预报的整个发展过程中，经常提出并讨论气象预报的作用问题。初看起来，海洋水文预报显然应以气象预报为基础，但是在实际应用时，却产生了困难。由于长期天气预报的准确率较低，所以也使海洋预报的保证率大大降低。在短期预报中，利用天气预报的可能性较大，但是这种可能性也是很有限的。例如，对于远海海域，不能编制许多气象要素（空气湿度、云量等）的预报。因此，在建立短期——特别是长期预报时，力求不使用天气预报。在自然界中，与气象要素相比，水文要素的变化存在着滞后现象（例如，水位比风滞后，水温比气温滞后等），滞后的时间可用作作为预报的时效。因为这种时间间隔，对于增加预报的时效，不总是足够的长，因此，只好利用短期气象预报（风、气温的预报）。

在建立长期海洋水文预报方法时，不是利用气象预报，而是间接地编制天气预报。例如，在根据前期气压形势编制冰情预报时，实际上是编制了气温预报。

从五十年代末开始的海洋多昼夜站的连续观测，在建立远海海域海洋水文要素的预报方法中起了重要的作用。以前的所谓同步观测，由于时间间隔相当大，以致不能分离水文要素的时间变化与空间变化。因此，只有布设带有海流自记仪的浮标站网，并在这些站点上进行水温和气象要素的长期观测，才有可能建立预报海洋热结构和海流的方法。

到目前为止，在预报水温方法方面，已经形成了几个方向。本书作者将尽可能地介绍各个主要方向的论著。

在第一篇中，主要介绍短期水温预报方法，其预报时效从几小时到数昼夜；在第二篇中，则介绍具有时效为1个月或更长时间的长期预报方法。

建立不同时效预报方法的途径，都具有各自的特点，这些特点将在介绍具体方法时指出。

第一篇 短期预报

第一章 海洋水温的变化

1.1 引起海洋水温变化的过程

海水温度的变化，是由于热量平衡各分量的变化而引起的。海水表层的热量平衡方程可表为下列形式

$$\Sigma Q = Q_0 - Q_{\text{回}} \pm Q_{\text{蒸}} \pm Q_{\text{凝}} - Q_{\text{海气}} \pm Q_{\text{融冰}} \pm Q_{\text{海流}} \pm Q_{\text{对流}}, \quad (1)$$

式中， Q_0 ——吸收的太阳辐射（其中包括反射的直接辐射和散射辐射）； $Q_{\text{回}}$ ——有效回辐射； $Q_{\text{蒸}}$ ——蒸发耗热和凝结得热； $Q_{\text{海气}}$ ——海面与大气的涡动热交换； $Q_{\text{融冰}}$ ——融冰耗热； $Q_{\text{海流}}$ ——海流引起的平流热交换； $Q_{\text{对流}}$ ——对流和涡动混合引起的与下垫层的热交换。

如果能够预报热量平衡中的每个分量，那么预报温度，便可归结为求方程(1)中每项修正值之总和。然而，对于具体时段，不仅编制预报，甚至计算前期热量平衡的每个分量，都不总是可能的。例如，没有系统观测海洋上空的空气湿度，因此，只得采用简化的方法^[113, 115]计算蒸发及有效回辐射的热耗量。而在计算由海流引起的热输送时，遇到的困难就更大了。

当能够区分一些占优势的过程时，才能较为容易地建立起预报方法。因此，对暖半年和冷半年、近岸浅水区和深水区、深层水上升区等，分别研究其水温变化的原因是合理的。

海洋的主要热量收入,来自太阳。其他过程则导致热量的重新分配。如果没有输送巨大热量的气流和海流的作用,那么温度的分布仅取决于地点的纬度。实际上,不管是水温还是气温的等值线,都偏离纬线而趋于盛行气流和海流的方向。

来自太阳的热量,被水体吸收。С. Г. Богусавский 的研究表明,海水吸收的辐射热,随深度按指数规律衰减^[20]。深度为 z 处水温的变化,可按下式* 计算。

$$\Delta t_w = 0.47Q_{\odot}e^{-\beta_1 z} + 0.53Q_{\odot}e^{-\beta_2 z},$$

式中, $Q_{\odot}$ ——太阳辐射; β_1 和 β_2 ——吸收系数。按上式的计算表明, 90% 的太阳辐射为 10 米厚的上层海水所吸收。

在风混合和对流混合的作用下,所吸收的热量在厚度为几十米的水层内重新分配。这个上受热层便以跃层(其温度和其他特征具有较大的垂直梯度的)与其下垫层相分开。较大的密度梯度阻碍了涡动的进一步发展,使垂直交换难于进行、跃层免遭破坏。在这种情况下,阿基米德力便阻止较暖且较轻的上层海水下沉到密度较大的深层。通常,跃层在整个夏季里都存在,甚至在狂风之后也不被破坏。

J. K. Francis 和 H. Stommel^[143] 根据大西洋天气船的观测资料,在分析跃层深度的变化之后指出,当跃层较弱(即其梯度不大)时,在连续三天 8—9 级大风的作用下,跃层便会遭到破坏,或者下沉到相当大的深度(图 1)。但是,如果跃层具有较大的温度垂直梯度,则同样的三天大风却只能使跃层微微下沉。

* 原文公式印刷有误,已改正。——译者

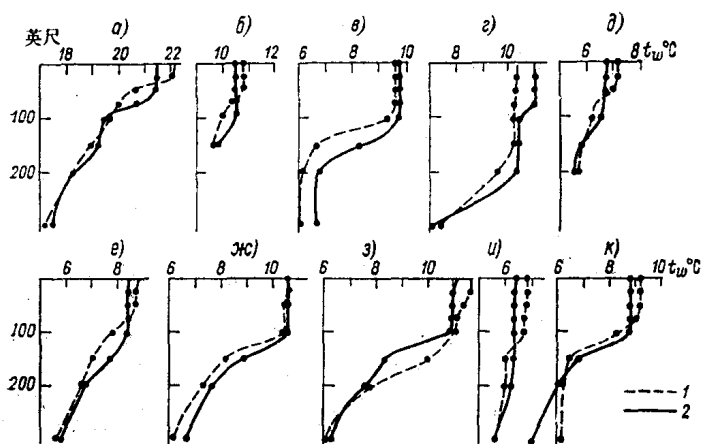


图1 暴风前(1)和后(2)大洋水温垂直分布的实例^[143]

1 英尺 = 0.305 米

а——1946.5.29—6.1, 天气船“E”, 最大风力 8 级

б——1946.7.19—21, 天气船“C”, 8 级风

в——1946.8.19—20, 天气船“A”, 8 级风

г——1946.10.16—19, 天气船“C”, 8 级风

д——1948.6.2—4, 天气船“C”, 9 级风

е——1946.6.20—22, 天气船“C”, 8 级风

ж——1949.8.2—4, 天气船“C”, 9 级风

з——1949.8.9—12, 天气船“C”, 8 级风

и——1950.5.1—3, 天气船“C”, 8 级风

к——1951.7.17—19, 天气船“A”, 8 级风

目前, 相当准确地估计各种因素在形成均匀层过程中的作用, 尚不可能。因此, 在大多数的研究中, 都把涡动混合当作影响均匀层厚度(H)的主要原因。同时也发现了 H 值与海水吸收的辐射量之间的关系^[70]。 H 值的纬向变化, 与海面热量收入的纬向分布极为吻合, 即海面收入的热量越多, 上均匀层的厚度越大(至少对于盐度变化不大的海区是

这样)。当比较云量和均匀层厚度 H 的变化曲线时,发现它们之间存在着反比关系。但是, H 值的纬向变化与平均风速之间,却不存在任何关系,即在风速大的中、高纬度地区, H 值比低纬热带地区的要小。 H 值的年变化,取决于通过海面的热通量。随着热消耗大于热收入,秋-冬季对流开始发展,从而导致了跃层的下沉。在大洋的某些水域,跃层将下沉至100—200米;而在另一些水域,上混合层的水温与其下垫层的水温相同,此时跃层消失。

海面热通量的变化,不仅引起热结构的季节变化,而且还可以导致水温的明显的短期变化。云量对均匀层的水温也有较大的影响。它影响太阳对海面的辐射,而有效回辐射可作蒸发强度的间接特征^[13]。如果逐日间云量由0变到10,来自太阳的辐射热则在400—500卡/厘米²·日范围内变化,它将引起水温的显著变化^[103,104]。在浅水和浅滩区,强烈的受热会使这些区域的水温显著升高,并且在与深水区的分界处形成较大的温度水平梯度。冷半年,在海面发生冷却的各种过程中,蒸发耗热以及与大气的涡动热交换耗热对水温的降低起着重要的作用。

动力因素,诸如海流引起的热平流、潮汐、气压系统(特别是热带飓风和台风)过境时深层水的上升与下沉等,对海面水温分布的短期变化以及水温的垂直分布起着极为重要的作用。T. Laevastu 和 P. M. Wolff 指出,平流对海面水温的变化起着颇为重要的作用。他们列举了一个例子:在太平洋天气船“N”站上,曾记录一昼夜(1965年3月29—30日)内水温下降达2.2℃,而该站水温的年变幅为5℃^[148]。换言之,在一天内水温的变化约为年变幅的一半。

引起这种变化的原因，就是海水的平流作用。如果假定风能引起海水沿等压线方向的流动，则可根据气压图探索海水的平流。对于大西洋也可以举出类似的例子。在上述例子的基础上，作者得出一个结论，认为大气是引起水温变化的原因。

根据在多昼夜连续站上同时观测的水温和海流资料，可以发现，海流引起的热输送对水温具有明显的影响。例如，在太平洋黑潮暖水和亲潮冷水相混合的区域，曾发现水温在

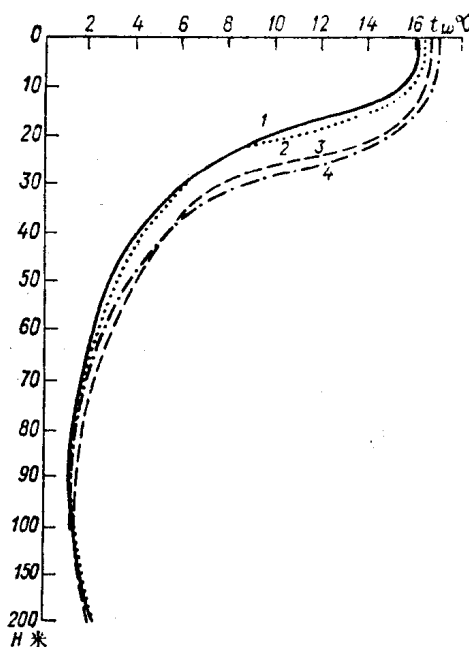


图2 水温垂直分布曲线

- 1 — 9月9日13时
- 2、3 — 分别为9月10日13时
- 4 — 9月11日0时