

SUR LA PROPAGATION DE LA CHALEUR DANS LES EAUX DE LA MER NOIRE

Bondar Constantin

Institut de Meteorologie et Hydrologie Bucarest

ABSTRACT

A study on the temperature waves within the sea watermass for the time interval elapsed between 1959 and 1969 is reported; the study is based on the results of the oceanographic investigations and measurements carried out in the Black Sea along the Romanian coast by the former Waters State Committee. Direct measurements showed that the temperature of the various deep water layers changes periodically, having a variable amplitude and phase shift. By making use of the SCHMIDT-FOURIER process the annual average value of the heat propagation coefficient is determined for different depth horizons. It was found out that the vertical variation of the heat propagation coefficient in the sea water is of an exponential type. At the water surface, the value of the heat propagation coefficient is 36 sq.cm./sec.

Considérations d'ordre général

En hydrologie marine, à côté de l'étude du déplacement de l'eau, une place importante revient à l'étude de l'échange de chaleur qui a lieu entre l'atmosphère et l'eau.

L'étude de l'échange réciproque de chaleur atmosphère-eau a pour but de connaître et de fournir une explication à certains

phénomènes complexes, thermiques, chimiques et biologiques qui se déroulent dans l'eau des mers et des océans. L'énergie thermique solaire, dès qu'elle pénètre dans l'atmosphère et dans l'eau, se transforme par des voies complexes en énergie cinétique (vents, vagues, courants etc.) et en l'énergie potentielle du monde vivant. Une part de l'énergie thermique solaire qui atteint la surface du miroir d'eau, pénètre à l'intérieur de la masse d'eau marine qu'elle rechauffe en déterminant ainsi les conditions de vie dans l'eau des mers et de océans. La température, comme agent synthétique de mesure et de manifestation des processus thermiques dans l'eau des mers, est le facteur déterminant des conditions de travail de l'homme sous l'eau. En fin, l'action réciproque des processus thermiques qui ont lieu dans l'atmosphère, dans l'écorce terrestre et dans l'eau déterminent les conditions de climat sur terre. Pour cette raison, l'étude thermique de la mer est strictement nécessaire.

Le présent travail est basé sur les mensurations et les observations océanographiques effectuées dans la mer Noire entre 1959 et 1969 sous l'égide de l'ancien Comité d'Etat des Eaux.

Raccourci sur les caractéristiques de température de l'eau de la mer Noire dans la zone de la côte roumaine

Les caractéristiques du régime de température subi par les masses d'eau marine dans la zone de la côte roumaine sont déterminées par le bilan thermique de la zone en question. A ceci on doit ajouter les facteurs dynamiques propres à la mer (vagues et courants), qui affectent de façon déterminante les particularités des mélanges d'eau et intensifient le processus de propagation en profondeur de la chaleur solaire absorbée par l'eau à la surface. La figure 1 reproduit les courbes représentant le régime aquatique de température de l'air et de l'eau à des profondeurs de 0, 10, 20, 30, 40 et 50 m, d'après les données fournies par les recherches océanographiques conduites entre 1959 et 1969 sous l'égide de l'ancien Comité d'Etat des Eaux.

La figure 1 montre que le régime thermique des masses d'eau marine diffère en profondeur et comme niveau de refroidissement ou de chauffe, et comme amplitude des variations de température.

Les masses d'eau des profondeurs se chauffent et se refroidissent avec un certain délai (qui varie entre 1 et 5 mois) par rapport à la surface de l'eau.

On constate que l'influence du régime thermique de l'atmosphère est transmise dans l'eau jusqu'à des profondeurs d'environ 70 m, où la température de l'eau est relativement constante (7,8 °C en moyenne).

Pour mieux saisir les phénomènes, la figure 2 reproduit les courbes de variation en profondeur de la température de l'eau (moyenne annuelle) θ , de l'amplitude annuelle de la température (2A) et de la différence de période φ entre les crêtes de chauffe pour différentes profondeurs d'eau.

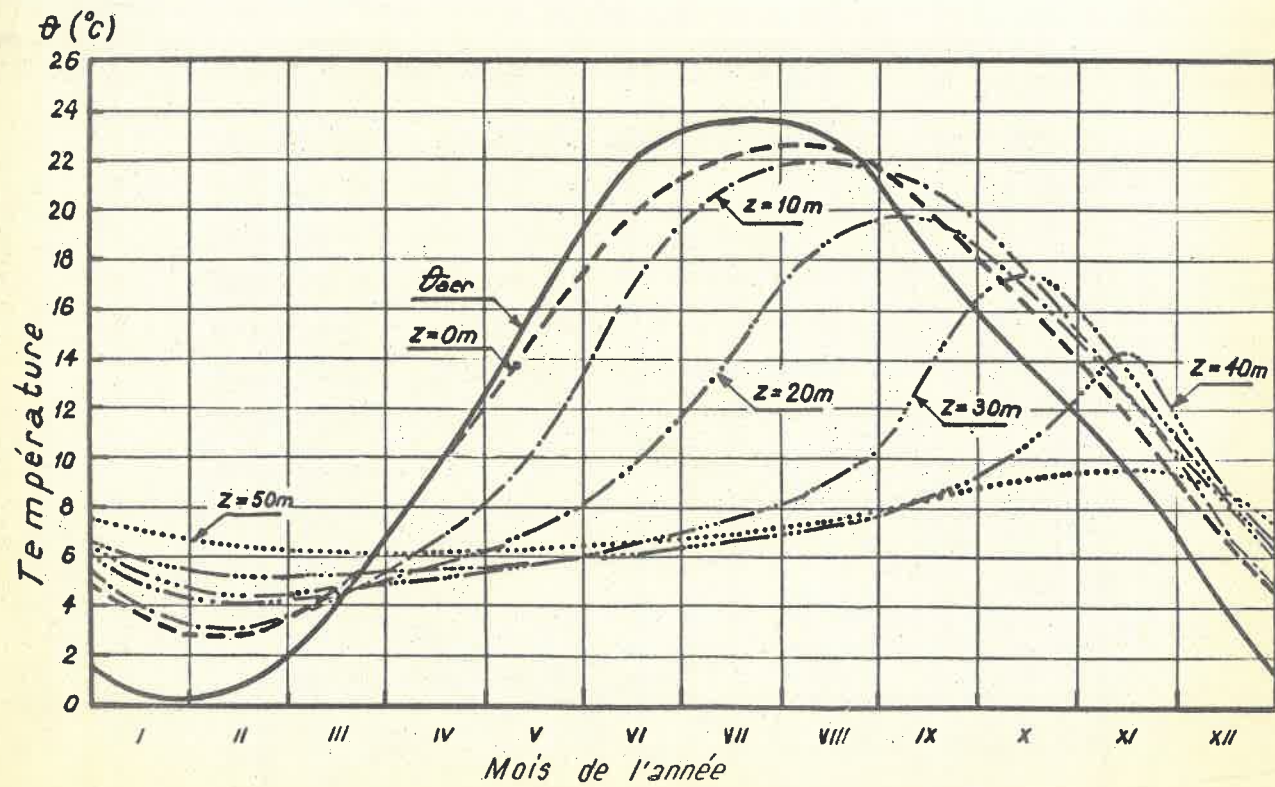


Fig.1. Courbes de variation, durant l'année, de la température de l'air et de l'eau de la mer Noire aux profondeurs de 0, 10, 20, 30, 40 et 50 m, dans la zone de la côte roumaine (D'après les données recueillies par l'ancien Comité d'Etat des Eaux entre 1959 et 1969)

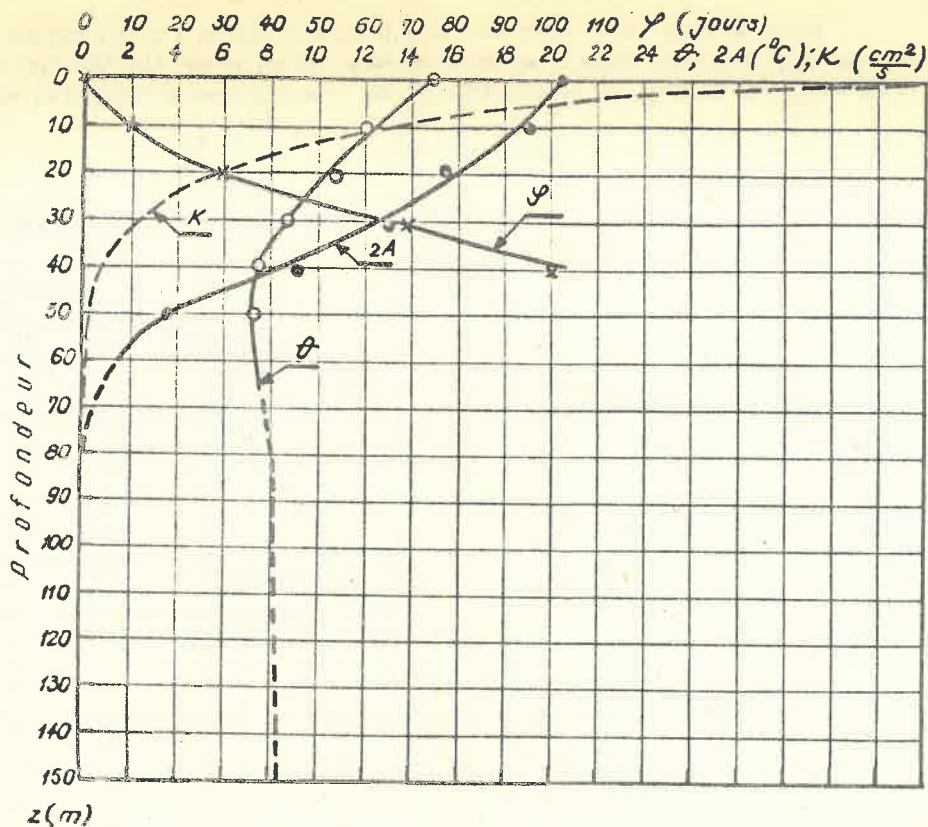


Fig. 2. Courbes de variation en profondeur de la température moyenne annuelle de l'eau (t), de l'amplitude de cette variation ($2A$), du décalage de phase par rapport au maximum de température de l'eau à la surface (ϕ), et du coefficient de propagation de la chaleur (K) dans l'eau de la mer Noire, à l'intérieur de la zone de côte roumaine

Au-dessous de l'horizon 150 m de profondeur, la température des eaux de la mer Noire demeure pratiquement constante (environ $8,5^{\circ}\text{C}$), avec une faible tendance de croissance jusqu'à $9,07^{\circ}\text{C}$ vers le fond.

Considérations d'ordre théorique sur la variation de l'eau en profondeur

La première étude théorique du problème appartient à W.SCHMIDT qui l'a publié en 1925.

SCHMIDT a repris les résultats des recherches expérimentales et théoriques conduites sur la propagation de la chaleur dans les corps solides par J. B. BIOT (1804) et J. FOURIER (1807 et 1811) au début du siècle dernier, en les appliquant à l'étude de la propagation de la chaleur dans la profondeur des masses d'eau. Voilà le raisonnement de W.SCHMIDT:

Si, durant la variation de la température de l'eau à la profondeur $z = 0$ est de type périodique, la fonction de temps (T)

$$\theta_{z=0} = \theta_m + A_o \cos \omega T \quad (1)$$

où θ_m est la température moyenne à la surface de l'eau durant la période d'oscillation annuelle (τ);

A - amplitude d'oscillation annuelle de la température de l'eau à la surface;

τ - période d'oscillation de la température de l'eau à la surface (égale à une année);

ω - pulsation de l'oscillation, exprimée par la relation

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau} \quad (2)$$

alors, en résolvant l'équation à dérivées partielles de la propagation de la chaleur :

$$\frac{\partial \theta}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \quad (3)$$

qui satisfait, dans l'eau de mer, à la condition (1) et où l'on admet que le coefficient de propagation de la chaleur k_z est constant, on arrive à la solution :

$$\theta_z = \theta_m + A_o e^{-\sqrt{\frac{\pi}{K\tau}} \cdot z} \cdot \cos \left(\omega T - \sqrt{\frac{\pi}{K\tau}} \cdot z \right) \quad (4)$$

La fonction (4) exprime la loi qui gouverne la variation annuelle de la température de l'eau suivant les différentes profondeurs (z). Comme on le voit, la fonction (4) est toujours une fonction périodique, où l'amplitude de variation de la température et la différence de phase sont des grandeurs variables et dépendentes de la profondeur.

L'équation (4) donne, pour l'amplitude des oscillations de température à la profondeur (z), la valeur:

$$A_z = A_0 e^{-\sqrt{\frac{\pi}{\tau}} \cdot z} \quad (5)$$

qui décroît avec la profondeur suivant une loi exponentielle.

L'équation (4) donne également la différence de phase des oscillations de température de l'eau pour différentes profondeurs :

$$\varphi = \sqrt{\frac{\pi}{K \cdot \tau}} \cdot z \quad (6)$$

laquelle décroît suivant une loi linéaire.

Si l'on compare les courbes de variation (sur la verticale de la mer) de l'amplitude (2A) et de la différence de phase (φ) de température de l'eau de la mer Noire devant la côte roumaine (fig. 2), aux équations (5) et (6), on s'aperçoit qu'il existe des différences. Ni la courbe (2A) de la figure 2 n'a pas une allure exponentielle comme le prétend l'équation (5), ni la courbe (φ), n'est linéaire, comme le prétend l'équation (6). Les différences sont redevables au fait qu'en solutionnant l'équation à dérivées partielles (3), le coefficient de propagation de la chaleur a été pris $K_z = \text{const.}$

Mais cela ne veut pas dire que la solution (4) n'est pas utilisable. En effet, non seulement la fonction (4) complète analytiquement l'image du champ de températures dans l'espace et dans le temps, mais elle permet encore de déterminer le coefficient de propagation de la chaleur, en considérant que celui-ci demeure constant entre deux couches voisines z_1 et z_2 .

Problème de la détermination du coefficient de propagation de la chaleur en profondeur de la mer Noire

Comme nous l'avons montré au paragraphe 3, les relations (5) et (6) permettent de calculer la valeur du coefficient de propagation de la chaleur. Dans ce sens, la valeur de (K) de la relation (5) a été mise sous la forme plus explicite :

$$K_A = \frac{\pi}{\tau} \left(\frac{z_2 - z_1}{L_n \frac{A_1}{A_2}} \right)^2 \quad (7)$$

et, par conséquent, celle de la relation (6) fut mise sous la forme :

$$K_\varphi = \frac{\pi}{\tau} \left(\frac{z_2 - z_1}{\varphi_2 - \varphi_1} \right) \quad (8)$$

Et, comme dans la pratique il est assez difficile d'établir le décalage de phase entre les températures de l'eau aux différentes profondeurs, on préfère déterminer le coefficient de propagation de la chaleur par la relation (7).

En adoptant ce procédé et en prenant comme base la courbe (2A) de la figure 2, on a calculé, avec la relation (7), les valeurs du coefficient de propagation de la chaleur qui furent ensuite portées sur la même figure (voir courbe K). La courbe K fut extrapolée linéairement depuis l'horizon $z = 2,5$ m jusqu'à la surface. ce qui a donné pour le coefficient de propagation de la chaleur à la surface une valeur de $36 \text{ cm}^2/\text{s}$.

L'allure de la courbe K montre que la distribution verticale du coefficient de propagation de la chaleur dans l'eau marine est de type exponentiel; plus exactement, elle a la forme :

$$K_{Az} = K_{Ao} e^{-\alpha \cdot z} \quad (9)$$

Pour $z = 20$ m et $K_{Az} = 6 \text{ cm}^2/\text{s}$, établis au moyen de la courbe K de la figure 2, on aura $\alpha = 0,0734$, soit :

$$K_{Az} = 26, e^{-0,0734 \cdot z} \quad (10)$$

Il est intéressant de comparer l'exponentielle du coefficient (K_A) :

$$\frac{K_{Az}}{K_{Ao}} = e^{-0,0734 \cdot z} \quad (11)$$

à l'exponentielle de la variation sur la verticale des rayons des trajectoires orbitales circulaires des déplacements des particules d'eau, causés par les vagues à fortes profondeurs ($H > \frac{1}{2}L$) :

$$\frac{r_z}{r_0} = e^{-\frac{2\pi}{L} \cdot z} \quad (12)$$

où :

- H est la profondeur de la mer;
- L - longueur d'onde des vagues;
- r_0 - rayon de la trajectoire orbitale des particules d'eau à la surface (égal à une demi-hauteur des vagues);
- r_z - rayon des trajectoires orbitales des particules d'eau à la profondeur (z).

Comme au large de la mer Noire, devant la côte roumaine, la longueur de très grandes vagues dépasse 100 m et que les grandes vagues de large ont ordinairement une longueur de 80 - 90 m, il s'ensuit que le

rapport $\frac{2\pi}{L} = 0,074$. Par conséquent, l'équation peut être encore écrite sous la forme :

$$\frac{r_z}{r_0} = e^{-0,074 \cdot z} \quad (13)$$

On verra des équation (11) et (13) que les exponentielles de la distribution verticale du coefficient de propagation de la chaleur et du rayon orbital du mouvement des particules sont très proches. Si les choses sont ainsi, alors on a toutes les raisons à supposer qu'entre le coefficient de propagation de la chaleur et le rayons orbital du mouvement des particules d'eau agitées par les vagues il y a une certaine relation de proportionnalité. Par conséquence, la turbulence de la mer provoquée par les vagues se transmet jusqu'à des profondeurs de 50 à 60 m et se reflète fidèlement dans la variation sur la verticale du coefficient de propagation de la chaleur. On peut supposer ainsi que les vagues jouent un rôle important dans la turbulence des eaux de la mer Noire. Les vagues de surface sont en grande partie redevables au mélange des masses d'eau en profondeur car elles brisent, par leurs mouvements, la stratification verticale saline des eaux de la mer et permettent l'oxygénation, par mélange turbulent, des couches d'eau jusqu'à des profondeurs de 50 à 75 m.

Quant à la détermination du coefficient de propagation de la chaleur dans l'eau de mer, il nous faut mentionner que les données obtenues par calcul et utilisées à construire la courbe (K) de la figure 2 caractérisent la moyenne annuelle du coefficient (K) pour différentes profondeurs. Durant le cours de l'année, la valeur du coefficient (K) subit des variations considérables en raison des vents, des vagues et des courants lesquels, pendant les saisons froides, s'intensifient et accroissent considérablement les valeurs du coefficient (K). La détermination des valeurs (K) en différentes saisons de l'année comporte un nombre d'études et

recherches supplémentaires, ainsi qu'un traitement spécial appliqué à l'équation à dérivés partielles (3).

Bibliographie

1. SCHMIDT, W. - 1925. Der Massenaustausch in breier Luft und verwandte Erscheinungen. Probleme der Kosmischen Physik, Hamburg
 2. TATON, R. - 1972. Istoria generală a științei, vol. III, Știință Contemporană, secolul al XIX-lea. Ed. Științifică, București
-