انتقال الحرارة الى اعماق المياه :

تنتقل الحرارة المتجمعة في المياه السطحية للمحيطات لاعماق محدودة
مستويات المحيطات والبحار بطرق مختلفة ، مثل تيارات الحمل واختلاط المياه
بعضها بواسطة الموجات البحرية اضافة الى اثر التيارات المحيطية ، (تتوغل الط
الضوئية الى اعماق محدودة جداً ، ويقتصر أثرها على الطبقات المائية السطحية
لقريبة من السطح فقط) . وتنتقل الحرارة السطحيه الى الاعماق المختلفة بش
طىء ، نظراً لان عملية تبادل المياه الدافئة السطحية والباردة العميقة ، يتم

محمد متولي حوض الخليج العربي الجزء الاول ص ٦٩ القاهرة ١٩٧٨

سمير نوف المصدر السابق ص ١٣٠

نطاق ضيق . وتتم عملية تبادل المياه الحارة والباردة طبقاً لظاهرة تيارات الحمل الحرارية ، التي تعني حركة المياه الرأسية نتيجة لاختلاف كثافة المياه السطحية عن كثافة المياه العميقة . ومما هو واضح ان كثافة مياه المحيطات تتعلق اساساً بدرجة حرارة مياهها ودرجة تركز الاملاح فيها ، غير ان درجة تركز الاملاح في مياه المحيطات تتغير بشكل طفيف بالتعمق الى المستويات المختلفة ، لذا فان تغير كثافة مياه المحيطات تعتمد بالدرجة الاساسية على تغيرات درجة حرارة المياه المحيطية وعلى ذلك تتألف كتلة مياه المحيطات من طبقات مائية ذات كثافات وحرارة وملوحة مختلفة . فاذا كانت الطبقات المائية الواطئة الكثافة تقع فوق الطبقات المائية الكثيفة ، فيحصل عندئذ ما يسمى بحالة الاستقرار بين الطبقات اما اذا كان العكس ، حيث الطبقات الكثيفة تستقر فوق الطبقات المائية الاقل كثافة ، فيحصل حينئذ عملية هبوط المياه الكثيفة الى اسفل وارتفاع الطبقات المائية السفلى ذات الكثافة الواطئة وعلى هذه الصورة تحدث ظاهرة الحمل الحراري ،

ان تغير درجة الحرارة وتركز الملوحة والكثافة بالعمق الى المستويات المختلفة من المحيطات يشكل ما يطلق عليه بالتدرج العمودي في مقدار الحرارة والملوحة والكثافة ومدى تغيرها في عمق واحد محدود . فقد يكون التدرج العمودي لمقدار تلك الخصائص ايجابياً او سلبياً ، فاذا كان التدرج العمودي لكثافة الماء ايجابياً (تزداد الكثافة بالتعمق) يؤدي ذلك الى ظهور مياه ذلك المسطح المائي في حالة استقرار . وعلى العكس من ذلك ، وعندما يكون التدرج العمودي للكثافة سلبياً ، فان مياه ذلك السطح تظهر في حالة عدم استقرار واضح . ان ارتفاع درجة كثافة المياه السطحية نتيجة لانخفاض درجة الحرارة او ارتفاع نسبة الملوحة تؤدي الى هبوط كثافة مياه الطبقات العليا الى الاسفل ، ولذا تنخفض درجة كثافة الماء السطحي ، بينما تزداد كثافة المياه السفلية الملامسة لها .

تؤثر تيارات الحمل (التيارات الصاعدة والنازلة) خلال اليوم الواحد على طبقة رقيقة من مياه المحيطات نتيجة لصغر المدى الحراري اليومي ، غير ان التغير الحراري السنوي يزيد في اختلاف كثافة مياه الطبقات المائية الامر الذي يرفع من شدة نشاط تيارات الحمل التي تنتقل بواسطتها طبقات مائية سميكة نحو الاسفل وبالعكس .

تختلف شدة تيارات الحمل السنوية ومدى الاعماق التي تصل اليها باختلاف مواقع المحيطات تصل تيارات الحمل الى اعماق كبيرة في محيطات العروض العليا الجنوبية والشمالية حيث تصل احياناً الى القاع ، ويضعف أثر تيارات الحمل في بعض البحار التي تتميز باستقرار الطبقات (حيث تستقر الطبقات المائية السطحية ذات التركز

الملحي الواطىء جداً فوق الطبقات المائية الكثيفة والمالحة) فمثلا لا تهبط مياه البحر البلطي الى اكثر من ٦٠ الى ٧٠ متراً . ولا تهبط المياه في البحر الاسود الى اكثر من مترا .

وتزداد شدة التيارات التصاعدية بازدياد المدى الحراري بين الطبقات المائية (السطحية والداخلية) والى توزيع الاملاح في الاعماق ، اذ ينخفض المدى الحراري بالتعمق عن سطح الماء . يظهر تغير درجة حرارة المياه اليومية على عمق لا يزيد على ٢٥ ـ ٣٠ متراً بينما يظهر اثر التغير الحراري السنوى في درجة حرارة المياه لعمق متوسط مقداره ١٥٠ متراً وقد يصل احياناً الى عمق ٢٥٠ متر .

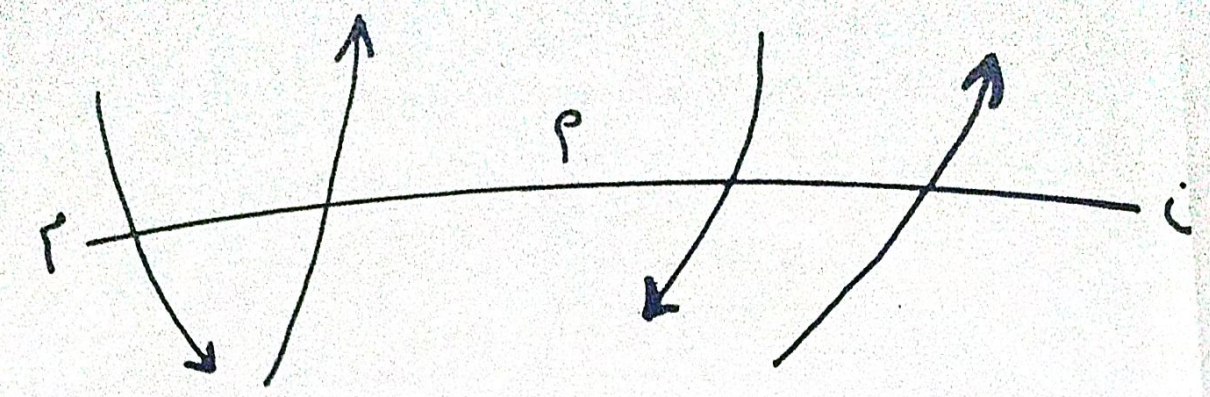
يتاخر انتقال الحرارة العالية والواطئة من السطح الى الاعماق بعض الوقت عن اكتساب او فقدان الطبقات السطحية للحرارة ، فقد تمتد فترة الانتقال هذه الى حوالي ثلاثة اشهر تقريباً في المستويات التي لا يزيد عمقها عن ٢٠٠ متر من السطح .

إن سبب انتقال الحرارة السطحية الى الاعماق يعود كما ذكرنا سابقا الى عملية امتزاج المياه مع بعضها عن طريق الموجات البحرية وفعل التيارات المحيطية فيقتصر اثر الموجات البحرية على الطبقات العليا فقط نظراً لتلاشي الموجات البحرية بسرعة بالتعمق الى الطبقات السفلى ، الا ان للتيارات البحرية اثر واضح ولها دور أساسي في نقل المياه الحارة والباردة نحو الاعماق . تجري التيارات المحيطية في اطراف المسطحات المائية بسرع متفاوتة مكونة حركات اعصارية دوامية تعمل على خلط وامتزاج الماء افقياً وعمودياً .

إن عملية امتزاج مياه طبقتين مائيتين متجاورتين يمكن تحديدها وفق المعادلات القياسية المبسطة التالية ، فاذا كانت عملية الامتزاج تحدث بين طبقتين أ ـ ب (كما في الشكل التالي رقم ١٦) وعملية تحدث خلال السطح م ـ ن وفي وقت واحد ، فتظهر حركات دوامية تحرك المياه من الاعلى الى الاسفل وبالعكس وتحدث بجانب ذلك عملية انتقال العناصر الاساسية (الشوائب الموجودة في مياه البحار والمحيطات بالاضافة الى خاصية الحرارة والملوحة) بين طبقة واخرى ونتيجة لذلك يحدث التبادل المائي بين الطبقات في وقت واحد وبشكل متعادل بين الاتجاهين .

فعند اختلاف العناصر الأساسية (الحرارة والملوحة) بين طبقات الماء طبقا للتدرج العمودي لها عندئذ يمكن ايضاح العلاقة بالشكل التالي :

$$S = -A \frac{ds}{dz}$$



ب

الشكل رقم ١٦

حيث ان $\frac{ds}{dz}$ تمثل التدرج العمودي للعناصر الأساسية

و A = معامل الامتزاج

و S = درجة العناصر الأساسية

وتوضع العلاقة السالبة (–) عادة ، نتيجة لانخفاض العناصر الأساسية بالهبوط الى الاعماق ، ويمكن تحديد درجة الانتقال الحراري في داخل المياه وفق المعادلة القياسية التالية :

$$Q = - A \frac{dq}{dz}$$

حيث ان Q = كمية الحرارة المنقولة في الثانية خلال سم٢

و q = كمية الحرارة الموجودة في حجم معين من الماء مقدر بالغرامات / سعرة

و $\frac{dq}{dz}$ التدرج الحراري .

ويمكن تحديد معامل الدوامية (الحركة الدوامية) كالتالي ،

$$K = \frac{A}{P}$$

حيث ان P = كثافة الماء والتي يستخرج وفق المعادلة التالية

$$q = C_p T$$

حيث ان CP = سعة الماء الحرارية

T = درجة حرارة الماء

وعلى هذا فان $CP \frac{dT}{dz} = \frac{dq}{dz}$

اذن $Q = Kcp\ p \frac{dT}{dz}$

إن عملية امتزاج مياه البحار والمحيطات عن طريق تيارات الحمل والموجات البحرية والتيارات المحيطية تؤثر بشكل او آخر على انتقال الحرارة من الماء الى الغلاف الغازي الملامس والى ارتفاعات قد تصل الى عدة مئات من الامتار، ويظهر اثر ذلك جلياً في تدفئة الهواء الملامس خلال فصل الشتاء او اعتدال درجة حرارة الهواء في الصيف. فمثلاً ان انخفاض درجة حرارة مسطح مائي مساحته ٧٠ الف كيلومتر مربع وبسمك ٢٠٠ متر، درجة مئوية واحدة فانه يعمل على رفع درجة حرارة الهواء بحوالي عشرة درجات مئوية وعلى مساحة تعادل مساحة قارة اوربا ويصل تأثيرها الى ارتفاع اربعة كيلومترات في الغلاف الغازي تقريباً (١)

التوزيع العمودي لحرارة مياه المحيطات :

تنخفض درجة حرارة مياه المحيطات بالتعمق الى مستويات دنيا، الا ان درجة هذا الانخفاض تختلف وفق العروض الجغرافية، ومما هو جدير بالملاحظة ان تغير درجة حرارة مياه المحيطات يقع في الطبقات المائية التي لا يزيد عمقها عن ١٠٠٠ متر عن السطح (وفي بعض العروض بين ٢٠٠ ـ ٢٠٠٠ متر).

فيزداد التدرج العمودي (٢) لحرارة الماء في هذه الطبقات بشكل ملحوظ، في حين ينخفض او ينعدم هذا التدرج دون المستويات المذكورة كما هو ملاحظ في الجدول رقم ١٠.

---

(١) دافيدوف المصدر السابق ص٩٢

(٢) التدرج العمودي للحرارة، هو معدل انخفاض درجة الحرارة بين الطبقات المائية لكل ١٠٠ متر.

جدول رقم ١٠ تغير درجة حرارة مياه المحيطات T والتدرج الحراري $\frac{dT}{100}$ مع الاعماق للعروض الواقعة بين ٥٠ شمالاً و٥٠ جنوباً .

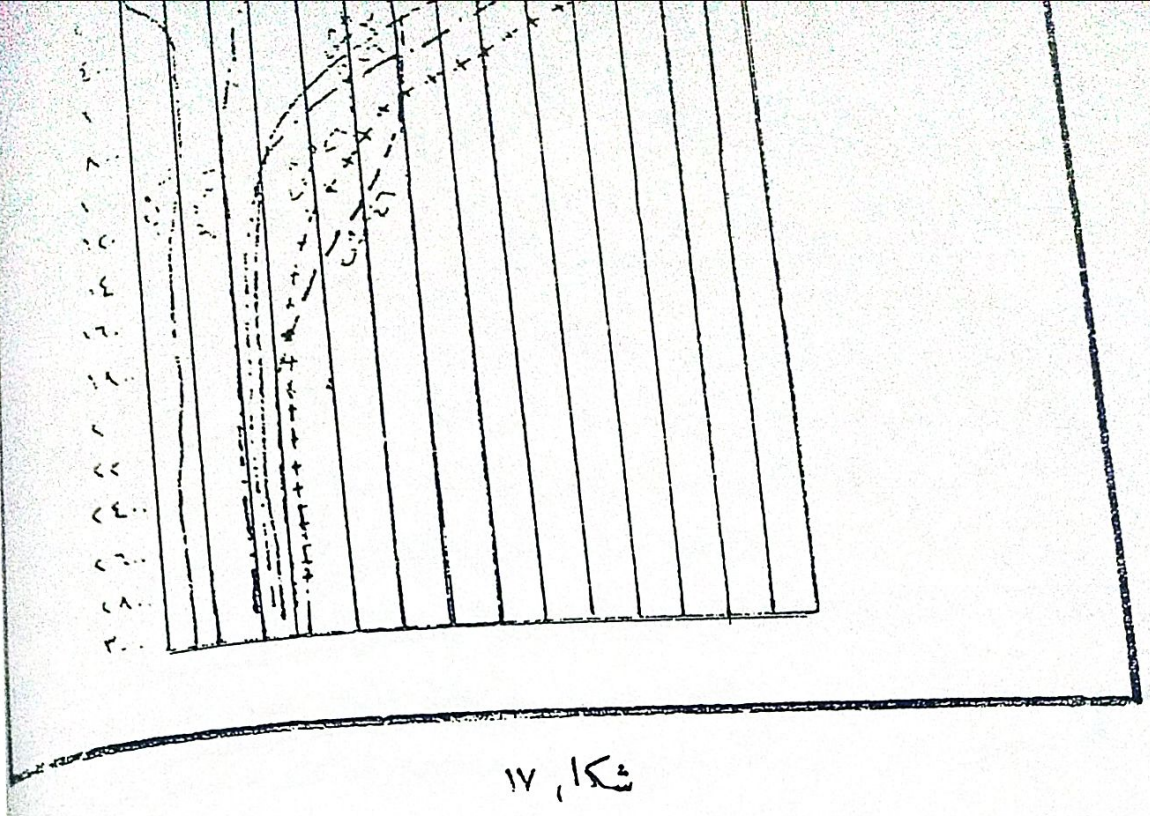
العمق متر	T درجة الحرارة	معدل الانخفاض الحراري لكل مائة متر (التدرج الحراري) $\frac{dT}{100}$	العمق متر	T درجة الحرارة (مئوي)	$\frac{dT}{100}$ التدرج الحراري
٠	١٦	٠,٢٥	١٠٠٠	٣,٨	
٢٠٠	١٥,٥	٠,٩٠	٢٠٠٠	٣,١	٠,٦٥
٤٠٠	١٣,٧		٣٠٠٠	٢,٨	٠,٠٧
٦٠٠	٩,٩	١,٩٠	٤٠٠٠	٢,٦	٠,٠٣
٨٠٠	٥,١	٢,٤٠	٥٠٠٠	٢,٥	٠,٠٢

المصدر ، شوليكن المصدر السابق

تنخفض درجة حرارة الماء بسرعة مع التعمق بمياه العروض المدارية (كما يظهر من الشكل رقم ١٧) غير أنه كلما تقدمنا بعيداً عن العروض المدارية نحو العروض المعتدلة وشبه القطبية ، نلاحظ اعتدال درجة الانخفاض (كما يلاحظ من الخط الحراري البياني لخط العرض ٢٦ درجة شمالاً وخط عرض ٤٦ درجة جنوباً ، ولهذا السبب فان الاختلافات الحرارية بين مستويات مياه محيطات العروض الوسطى والعالية قليل بالمقارنة مع محيطات العروض الدنيا (المدارية) فمثلاً ان درجة حرارة مياه السطح تساوي ٣٠ درجة مئوية ، وعلى عمق ٤٠٠ متر تكون درجة حرارة الماء حوالي ١٥ درجة مئوية وعلى عمق ١٠٠٠ متر تصبح ٧ درجات مئوية وعلى عمق ٥٠٠٠ متر تصل الى حوالي ٣ درجة مئوية .

وغالباً ماتكون درجة حرارة المياه الواقعة تحت عمق ٢٠٠٠ متر من السطح هي اقل من ٤ درجة مئوية ، بينما تقع اعظم الدرجات الحرارية للماء عادة تحت الطبقة السطحية مباشرة .

وتتميز درجة حرارة مياه المحيطات عند عمق ٤٠٠ متر في العروض المعتدلة بانها ادفء من مثيلتها عند الاستواء وعلى نفس المستوى ، ويمكن ان يعلل ذلك الى هبوط المياه الباردة المندفعة من العروض شبه القطبية نحو الاستواء .



شكل ١٧

تغير درجة حرارة مياه المحيطات الرئيسية وفقاً لخط العرض

ويتشابه توزيع الحرارة العمودي في مياه محيطات العروض القطبية مع توزيع
في مياه محيطات العروض المعتدلة (كما يلاحظ من الشكل رقم ١٧ عند خط العرض
٦١° شمالاً) حيث تتميز الطبقات العليا من مياهها بانخفاض درجة حرارتها
وانخفاض درجة ملوحتها نسبياً نتيجة ذوبان الثلوج في القارة القطبية الجنوبية
(آنتار كتيكا) وزيادة صبيب الانهار في القطب الشمالي . تصل درجة حرارة سطح
مياه هذه المحيطات الى حوالي الصفر ، وقد تنخفض الى أقل من ذلك في عروض تقع
الى الجنوب من الدائرة القطبية حتى تصل الى (– ١,٨) درجة مئوية ، غير أنها
ترتفع بالتعمق الى مستوى ٢٠٠ متر من السطح ، اذ تصل عند ذلك المستوى الى
حوالي ٠,٥ درجة مئوية في نصف الكرة الجنوبي ، والى حوالي ٢ درجة مئوية في
النصف الشمالي منها غير ان درجة الحرارة تعود الى الانخفاض بعد ذلك المستوى
حيث تصل الى الصفر المئوي على عمق ٨٠٠ متر عن السطح ، وتصل الى ادنى من ذلك
في اعماق دون ذلك (درجة حرارة مياه الاعماق في محيطات العروض المدارية تقدر
بحوالي ٣ درجة مئوية وفي العروض المعتدلة تصل الى حوالي الصفر المئوي ، بيد انها
تنخفض الى درجات سالبة وبحدود – ١ أو – ٢ درجة مئوية في العروض القطبية) .

وقد ترتفع درجة حرارة المياه العميقة جداً نتيجة لاكتسابها الحرارة من باطن القشرة الارضية عن طريق الانفجارات البركانية ، الا ان هذا الارتفاع في الحرارة لا يزيد عادةً عن اجزاء الدرجة المئوية الواحدة .

لا يختلف توزيع الحرارة العمودي في مياه البحار عنه في مياه المحيطات اذا كانت البحار مفتوحة ومتصلة مع المحيطات . واذا انفصلت البحار عن مياه المحيطات ، بواسطة حواجز ومضايق ضيقة فعندئذٍ تختلف حرارتها عن ذلك التوزيع في المحيط ، حيث ان درجة توزيعها يعتمد بالدرجة الاولى على عمق البحار ودرجة حرارة المياه السطحية وملوحتها في الطبقات المائية الواقعة فوق مستوى المضايق التي تفصل بينها وبين المحيط فاذا كانت درجة الملوحة متساوية تقريباً في مناسيب البحر المختلفة ، وان درجة حرارة المياه السطحية في البحر شتاءاً تزيد على درجة حرارة مياه المحيط الكائنة في مستوى المضيق الموصل بينهما عندئذٍ تتساوى درجة حرارة مياه البحر من المضيق الاعلى وحتى القاع ، حيث ان درجة حرارة الماء تساوي درجة حرارة مياه المحيط الواقعة تحت مستوى منسوب المضيق الحاجز .

يتضح من دراسة توزيع الحرارة عمودياً في كل من بحار استراليا وبحار آسيا والبحر الكاريبي حيث ينفصل الاخير عن المحيط الاطلسي بواسطة المضيق المغمور عند جزر الانتيل والذي يقع على عمق ١٧٠٠ متر تحت مستوى سطح الماء . تبلغ درجة حرارة المياه السطحية في البحر الكاريبي حوالي ٢٧ درجة مئوية ، بينما تبلغ درجة حرارة المحيط الاطلسي عند المستوى ١٧٠٠ م من السطح حوالي ٤,٢ درجة مئوية (تدخل هذه المياه الحيطية الى حوض البحر الكاريبي وتغمره بالمياه حتى عمق ٦٠٠٠ متر) وتبلغ درجة حرارة مياه البحر الكاريبي الواقعة تحت منسوب ١٧٠٠ م حوالي ٤,٢ درجة مئوية أي تساوى درجة حرارة مياه المحيط .

اذا كانت درجة تركز املاح مياه البحر متقاربة الى حد ما على جميع المستويات وتكون درجة حرارة مياهه السطحية شتاءاً تزيد على درجة حرارة مياه المحيط في مستوى قمة الحاجز الفاصل بينهما ، عندئذٍ تكون درجة حرارة مياه البحر دون ذلك المستوى وحتى القاع ، متساوية تقريباً وتساوي عادةً درجة حرارة المياه السطحية خلال فصل الشتاء .

فمثلاً ان توزيع درجة الحرارة رأسياً في البحر المتوسط تظهر بالشكل التالي :
درجة حرارة المياه عند مستوى مضيق جبل طارق تصل الى حوالي ١٣ درجة مئوية ، ونسبة تركز الاملاح تعادل ٣٨ في الالف ، بينما تبلغ درجة حرارة مياه المحيط

الاطلسي في نفس المستوى حوالي ١٢ درجة مئوية ونسبة تركز الاملاح ٣٦ في الالف ،
وعلى هذا فان كثافة مياه المحيط عند مستوى قمة المضيق اقل من كثافة مياه البحر في
نفس المستوى ، ولذا فان الضغط على قاع مضيق جبل طارق اعظم من مثيله على مياه
المحيط في نفس المستوى ونتيجة لذلك يندفع تيار مائي سفلي من البحر المتوسط
باتجاه المحيط الاطلسي ، والسبب نفسه يؤدي الى امتلاء المناطق العميقة في البحر
المتوسط بمياه البحر (المتوسط) الباردة والتي تصل درجة حرارتها خلال الشتاء الى ١٢
درجة مئوية ، تصبح درجة حرارة المياه الكائنة تحت مستوى مضيق جبل طارق
(في البحر المتوسط) متساوية الحرارة حتى القاع وقدرها ١٣ درجة مئوية ، وهي
تعادل درجة حرارة سطح مياه البحر المتوسط شتاءاً(١)

اذا تغيرت درجة تركز ملوحة مياه البحار في الاعماق ، فان درجة حرارة مياه
ذلك المسطح المائي السطحية تتعلق طبقاً لاختلاف تركز الاملاح . ولنأخذ مثلاً
البحر الاسود وبحر البلطي ، حيث تتميز الطبقات السطحية من البحر الاسود
بانخفاض نسبة تركز الاملاح ، فيصل تركزها الى ٢٢ في الالف .

وتنخفض درجة حرارة المياه السطحية للبحر الاسود خلال فصل الشتاء اذ قد
تصل في مناطقه الوسطى الى حوالي ٧ درجة مئوية ، وقد تنخفض في بعض اقسامه
الشمالية الى الصفر احياناً ، نتيجة لتوزيع الملوحة بين السطح والاعماق ولتوزع
الحرارة هذه فان تيارات الحمل الحرارية لاتهبط اكثر من ١٥٠ متراً فقط ، لذا فان
درجة حرارة الماء على مستوى ٢٠٠ متر من السطح تبقى ثابتة ولا تتغير خلال الايام
والفصول وتقع بحدود ٩ درجات مئوية . ترتفع درجة حرارة مياه الطبقات السطحية
في البحر الاسود صيفاً وتصل الى ٢٢ درجة مئوية ، الا انها تنخفض بسرعة في
الاعماق وتصل الى حدودها الدنيا وقدرها ٨ درجات مئوية على عمق ٥٠ متراً من
السطح ، غير ان درجة الحرارة ترتفع مرة اخرى بشكل بطيء بالانخفاض تحت
ذلك المستوى وتصل الى أقصاها وقدرها ٩ درجات عند القاع ، ويمكن تعليل هذه
الظاهرة الى اثر المياه الدافئة والمالحة المندفعة من بحر مرمرة باتجاه البحر الاسود .

وتحدث عملية امتزاج المياه البحرية مع بعضها في البحار التي تظهر فيها ظاهرة
المد والجزر (وخاصة في الخلجان الضحلة والمضايق) وعلى هذا يتم توزيع الحرارة
عمودياً بشكل متساوي تقريباً ، فمثلاً تتأثر مضايق البحر الابيض الروسي بظاهرة

(١) دافيدوف المصدر السابق.