

| | | |
|-------------|---|------|
| Том XLIX | Труды Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) | 1964 |
| Том LI | Известия Тихоокеанского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО) | |

551.463(265.2)

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В НЕКОТОРЫХ РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ РАЙОНАХ БЕРИНГОВА МОРЯ

Н. Г. Васюкова

Кафедра физики моря ДВГУ

Самое северное море Тихого океана — Берингово значительно теплее Охотского. Это различие обнаруживается при сравнении температуры воды на поверхности и температуры воздуха над морем (табл. 1). Как видно из таблицы, температура воды и воздуха на соответствующих широтах в Беринговом море выше, чем в Охотском, в средних годовых величинах на 3° для воздуха и $1,4^{\circ}$ для поверхности воды. Только в северной части Берингова моря более суровые условия, чем в северной части Охотского. Во всей толще Берингова моря наблюдаются высокие значения меридиональных градиентов и значительные широтные контрасты температуры воды. Западная половина моря в целом холоднее восточной, причем это различие относится не только к поверхностному слою, но и к толще воды. На фоне меридиональных и широтных контрастов выделяются районы сильного выхолаживания, приуроченные к шельфу.

Температурный режим вод моря влияет на закономерности распространения промысловых объектов и перспектив промысла. Правильное представление о режиме температуры вод моря позволяет создавать достаточно надежные промысловые рекомендации и, прежде всего, в смысле оценки запасов. В свою очередь исследования закономерностей теплового режима на современном этапе развития океанологических исследований требуют рассмотрения генезиса поля температур, т. е. изучения тех процессов, в результате которых это поле формируется.

Режим температуры вод моря, как известно, определяется тепловым балансом поверхности моря (радиационный баланс, испарение воды и конденсация водяных паров, конвективно-турбулентный теплообмен моря с атмосферой), адвекцией тепла или холода и процессами конвективно-турбулентного распространения тепла от поверхности моря на его глубины. Второстепенными компонентами баланса можно пренебречь.

Тепловой баланс поверхности Берингова моря еще очень мало изучен. Первая попытка его расчета была сделана в 1960 г. А. М. Баталиным [2]. Оказалось, что тепловой баланс поверхности Берингова моря

Таблица 1

| Месяц | 52—54° с. ш. | | 54—56° с. ш. | | 56—58° с. ш. | | 58—60° с. ш. | | 52—54° с. ш. | | 54—56° с. ш. | | 56—58° с. ш. | | 58—60° с. ш. | |
|--------------------|------------------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| | Охотское море | Берингово море | Охотское море | Берингово море | Охотское море | Берингово море | Охотское море | Берингово море | Охотское море | Берингово море | Охотское море | Берингово море | Охотское море | Берингово море | Охотское море | Берингово море |
| | Температура поверхности моря | | | | | | | | Температура воздуха | | | | | | | |
| I | -0,9 | 3,2 | -1,0 | 2,7 | -1,0 | 0,9 | -1,0 | -0,6 | -11,6 | 1,0 | -14,4 | -1,0 | -15,5 | -3,7 | -16,4 | -5,6 |
| II | -1,0 | 3,4 | -1,0 | 2,7 | -1,0 | 0,1 | -1,0 | -0,9 | -10,5 | 0,6 | -12,8 | -0,9 | -13,7 | -4,3 | -14,2 | -7,0 |
| III | -1,0 | 2,8 | -1,0 | 2,7 | -1,0 | 0 | -1,0 | -1,7 | -7,4 | 1,4 | -8,9 | -0,1 | -9,4 | -2,5 | -10,7 | -6,6 |
| IV | -0,9 | 3,4 | -1,0 | 3,0 | -1,0 | 1,9 | -1,0 | -0,2 | -2,9 | 2,0 | -4,0 | 1,7 | -4,7 | -0,7 | -5,1 | -3,1 |
| V | 0,4 | 4,4 | 0,2 | 4,0 | 0,2 | 2,1 | 0,1 | 0,2 | 1,0 | 4,0 | 1,0 | 7,3 | 0,6 | 2,7 | 0,6 | 1,5 |
| VI | 3,9 | 5,4 | 3,8 | 5,4 | 4,8 | 5,0 | 4,2 | 4,0 | 5,0 | 6,8 | 5,3 | 6,1 | 5,2 | 5,7 | 5,7 | 5,1 |
| VII | 8,3 | 8,6 | 8,5 | 8,3 | 8,1 | 8,2 | 8,6 | 7,4 | 9,7 | 8,4 | 9,7 | 8,4 | 9,6 | 8,9 | 9,7 | 8,6 |
| VIII | 10,6 | 10,2 | 10,4 | 10,0 | 10,7 | 9,8 | 10,4 | 9,9 | 12,0 | 10,8 | 12,1 | 10,6 | 12,1 | 7,7 | 11,4 | 9,9 |
| IX | 10,6 | 9,2 | 10,1 | 9,1 | 8,6 | 9,1 | 9,5 | 8,6 | 11,1 | 9,2 | 10,2 | 8,9 | 9,3 | 8,5 | 7,9 | 8,1 |
| X | 7,3 | 7,6 | 6,7 | 7,1 | 5,6 | 6,4 | 4,9 | 5,6 | 6,6 | 6,0 | 4,9 | 5,9 | 4,0 | 4,6 | 2,0 | 3,1 |
| XI | 3,1 | 5,6 | 2,3 | 5,1 | 0,9 | 3,8 | 0,8 | 2,1 | -1,2 | 3,0 | -3,3 | 2,9 | -4,4 | 0,9 | -6,0 | -0,6 |
| XII | 0 | 4,2 | -0,5 | 2,8 | -1,0 | 1,0 | -1,0 | -1,0 | -7,0 | 1,6 | -9,8 | 0,6 | -11,0 | 2,3 | -12,1 | -4,4 |
| Средне- годовая | 3,4 | 5,7 | 3,1 | 5,2 | 2,8 | 4,0 | 2,8 | 2,8 | 0,4 | 4,6 | -0,8 | 4,2 | -1,5 | 2,1 | -2,3 | 0,7 |

отрицателен и величина дефицита тепла составляет за год $28,7 \text{ ккал/см}^2$. Расчет отдельных компонентов дает следующие результаты. Радиационный баланс положителен и составляет за год $28,3 \text{ ккал/см}^2$, теплопотери за счет испарения достигают $41,2 \text{ ккал/см}^2$, потери тепла за счет конвективно-турбулентного теплообмена — $15,8 \text{ ккал/см}^2$. В пространственном распределении величины теплового баланса поверхности моря можно выделить следующие главные закономерности. Наибольший дефицит тепла наблюдается в южной части моря, где он достигает максимальных значений ($50\text{—}60 \text{ ккал}$). В районе о-ва Св. Лаврентия и к северу от него тепловой баланс поверхности моря становится положительным.

А. М. Баталин [1, 2] указал, что, пользуясь балансовыми расчетами, можно также оценить величину адвекции тепла, вносимого в Берингово море океаническими течениями. В упомянутых работах расчеты производились относительно центров достаточно больших квадратов ($2 \times 5^\circ$). Естественно, что при этом многие детали распределения компонентов баланса оказались сглаженными, а в прибрежных районах и особенно в области Берингова пролива требуют уточнения.

Исследования ихтиофауны моря требуют применения балансовых расчетов к отдельным рыбопромысловым районам. Можно выделить два таких основных района (рис. 1). Первый из них охватывает акваторию от побережья Камчатки до меридиана 180° , второй относится к району юго-восточной части моря. Тепловой режим этих двух районов различен. В первом из них отмечается значительное выхолаживание вод по сравнению со вторым. По наблюдениям за последние годы это различие в слое $0\text{—}200 \text{ м}$ достигает 3° . Если в первом районе достаточно хорошо выражен холодный промежуточный слой, то во втором он размыт и временами полностью исчезает. Для расчетов теплового баланса поверхности моря в этих двух районах нами были использованы результаты океанографических работ и данные синоптических карт.

Настоящая работа анализирует главные составляющие теплового баланса Берингова моря для основных рыбопромысловых районов моря — западного и восточного, что позволит выявить основные закономерности, определяющие формирование температурного поля и определить основные причины его изменчивости.

Тепловой баланс поверхности Берингова моря рассчитывался для центров квадратов размером $1 \times 2,5^\circ$ (рис. 1) * по уравнению

$$Q_{\odot} - Q_{\text{эф}} \pm Q_{\text{т.о}} \pm Q_{\text{и+к}} + Q_{\text{т}} = 0, \quad (1)$$

где Q_{\odot} — приток тепла от суммарной солнечной радиации;

$Q_{\text{эф}}$ — потери тепла в результате эффективного излучения;

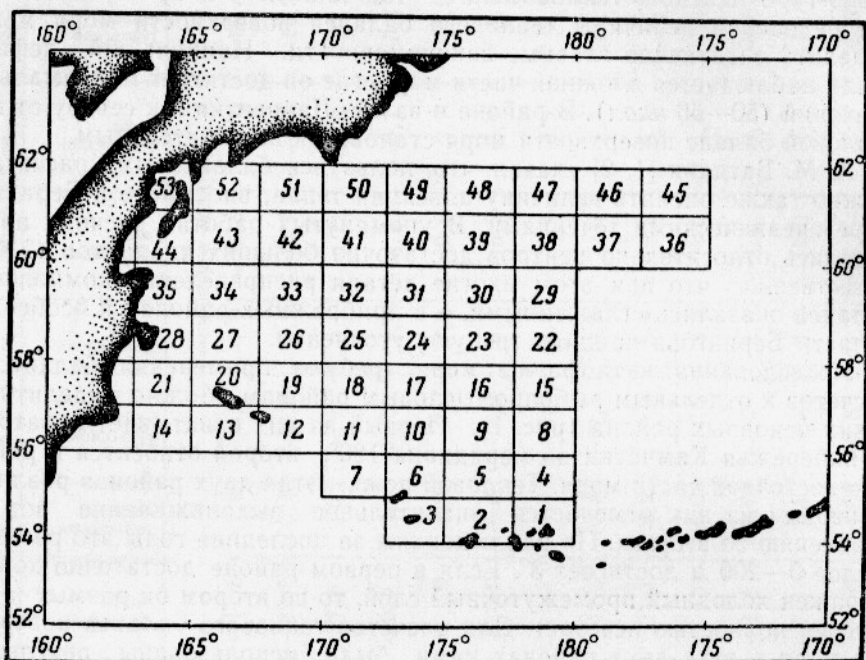
$Q_{\text{т.о}}$ — приток или потери тепла в результате конвективно-турбулентного теплообмена поверхности моря с атмосферой;

$Q_{\text{и+к}}$ — приток или потери тепла в результате процессов испарения или конденсации;

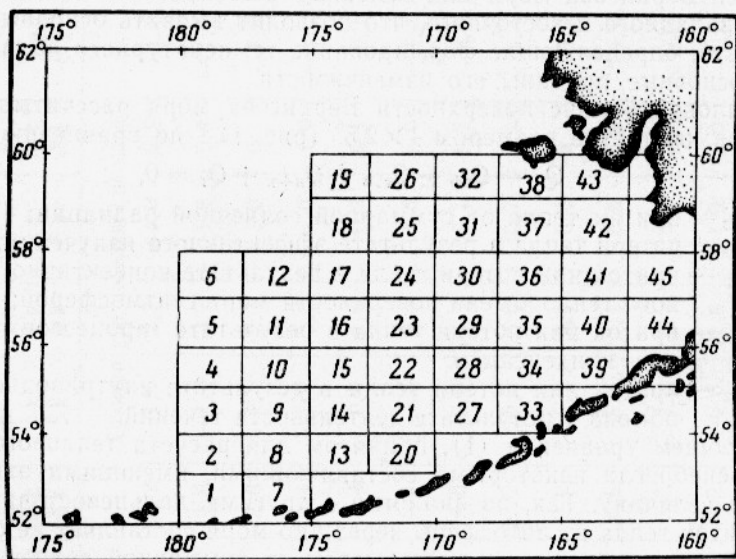
$Q_{\text{т}}$ — приток или потери тепла в результате внутриводного теплообмена в результате деятельности течений.

В общем уравнении (1), принятом для расчета теплового баланса, мы пренебрегли некоторыми составляющими, имеющими относительно малую величину. Так, по аналогии с другими дальневосточными морями приток тепла из литосферы через дно моря составляет не более $0,001$ количества тепла, получаемого морем от суммарной солнечной радиации Q_{\odot} . Приток тепла за счет перехода кинетической энергии движения вод в тепловую и за счет химических процессов вместе не превышает $0,001$ от Q_{\odot} . Приток тепла, поступающего с береговым стоком, примерно равен $0,003 Q_{\odot}$. При этом надо иметь в виду, что действие тепла, прино-

* В расчетах отдельных составляющих теплового баланса принимали участие студенты ДВГУ О. П. Аксенова и Е. И. Мишанина.



а



б

Рис. 1. Схема расположения квадратов в Беринговом море:
а — в юго-западной части; б — в юго-восточной.

симого береговым стоком, строго локально и приурочено к устьевым пространствам в теплое время года. Кроме того, при учете внутриводного теплообмена моря мы пренебрегли величиной теплообмена через Берингов пролив, считая, что через него происходит вынос берингово-морских вод и эффект адвекции будет обнаруживаться в Чукотском море. По абсолютной величине тепловой поток через пролив значительно меньше тепловых потоков из Тихого океана в Берингово море.

СУММАРНАЯ СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ

Количество тепла, поглощаемое поверхностью моря от суммарной солнечной радиации, определялось по соотношениям Савинова — Онгстрема

$$Q_{\odot} = (Q + q)_0 [1 - (1 - k)N] (1 - \alpha),$$

где $(Q + q)_0$ — суммарная солнечная радиация при безоблачном небе (в $\text{ккал}/\text{см}^2$ в месяц), определяемая по таблице Украинцева;

N — облачность в десятых долях покрытия неба;

k — коэффициент, показывающий, какая доля солнечной радиации, падающей на верхнюю границу облаков, достигает земной поверхности при наличии полной облачности;

α — альbedo морской поверхности для суммарной солнечной радиации (k и α выбирались из соответствующих таблиц, составленных по данным наблюдений в пунктах, расположенных на различных широтах).

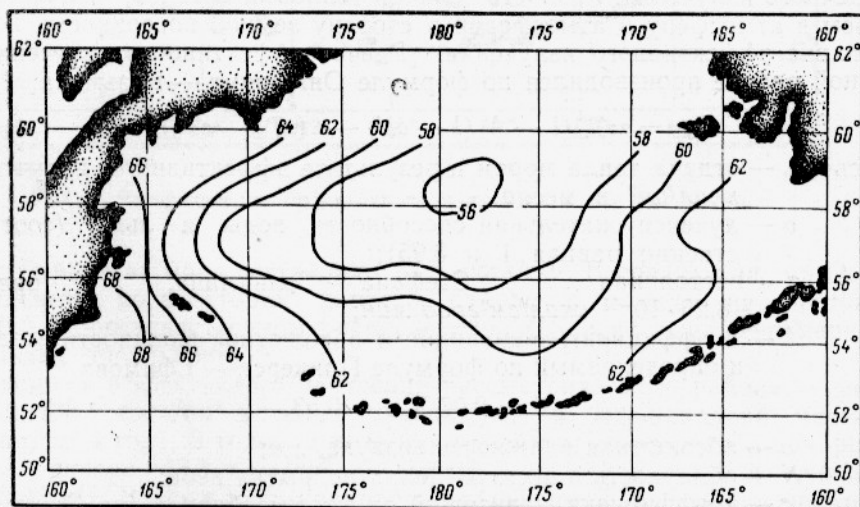


Рис. 2. Распределение суммарной солнечной радиации (в $\text{ккал}/\text{см}^2$) в год.

В среднем за год суммарная солнечная радиация в юго-западном районе Берингова моря составляет $61,3 \text{ ккал}/\text{см}^2$; максимальное значение Q_{\odot} — на западе ($66 \text{ ккал}/\text{см}^2$), а наименьшее — на востоке ($56 \text{ ккал}/\text{см}^2$). В пространственном распределении Q_{\odot} довольно отчетливо выражена меридиональная зональность и отсутствует широтная (рис. 2). Если учесть, что решающее влияние на Q_{\odot} оказывает облачность, то такое нарушение правильной широтной зональности Q_{\odot} можно объяснить резким увеличением облачности с запада на восток. В годовом ходе Q_{\odot} максимальное значение отмечалось в июне ($10 \text{ ккал}/\text{см}^2$), а минимальное значение — в январе ($0,85 \text{ ккал}/\text{см}^2$).

Максимальное значение Q_{\odot} из-за своеобразного годового распределения количества водяных паров в атмосфере смещено на июнь вместо июля.

В юго-восточной части Берингова моря в среднем за год поверхность моря получает $59,4 \text{ ккал/см}^2$ от суммарной солнечной радиации. Максимальное значение годовых сумм Q_{\odot} отмечается в юго-восточной части рассматриваемого района ($62,96 \text{ ккал/см}^2$), а минимальное — в северо-западной части ($55,44 \text{ ккал/см}^2$). В пространственном распределении Q_{\odot} в данном районе отмечается некоторая меридиональная зональность (рис. 2). В среднем для всего юго-восточного района моря максимум приходится на июнь ($9,3 \text{ ккал/см}^2$), а минимум — на декабрь ($0,8 \text{ ккал/см}^2$). В отдельных квадратах отмечается отклонение во времени наступления максимума от среднего значения по данному району Берингова моря. Так, в квадратах 22 и 23 максимум наступает в июле, а в квадратах 17,33—37,39—41 — в мае.

На поверхность вод юго-западного района за год поступает несколько большее количество тепла ($61,3 \text{ ккал/см}^2$) от суммарной солнечной радиации, чем на поверхность юго-восточного района ($59,4 \text{ ккал/см}^2$).

Это различие прослеживается почти в течение всего года и сглаживается лишь в ноябре и декабре.

ЭФФЕКТИВНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Часть тепла, получаемого морем от Солнца, теряется на обратное лучеиспускание. С другой стороны, атмосфера также частично излучает тепло, поглощаемое земной поверхностью, в виде так называемого встречного излучения. Разность величин тепловых потоков, излучаемых морем в атмосферу и атмосферой в сторону земной поверхности, носит название эффективного излучения. Расчет эффективного излучения в данной работе производился по формуле Онгстрема — Кузьмина

$$Q_{\text{эф}} = \alpha \sigma T_a^4 (1 - A) (1 - cN) - \alpha (\sigma T_w^4 - \sigma T_q^4),$$

здесь $Q_{\text{эф}}$ — отдача тепла морем в результате эффективного излучения, ккал/см^2 в месяц;

α — лучеиспускательная способность воды и льда (соответственно равная 1 и 0,95);

σ — постоянная Стефана — Больцмана, равная $8,26 \cdot 10^{-11} \text{ ккал/см}^2 \text{град мин}$;

A — коэффициент, зависящий от абсолютной влажности воздуха и определяемый по формуле Пиккерса — Ефимова

$$A = 0,07 \sqrt{e} + 0,53,$$

где e — абсолютная влажность воздуха, мм ;

N — облачность в десятых долях покрытия неба;

c — коэффициент, зависящий от формы облаков (по Онгстрему принят равным 0,75);

T_w — абсолютная температура поверхности воды;

T_a — абсолютная температура воздуха.

Эффективное излучение с поверхности моря, покрытого льдом, рассчитывалось по этой же формуле. Лучеиспускательная способность льда принималась равной 0,95. Температура поверхности льда считалась равной температуре воздуха; в случае положительных температур воздуха температура льда принималась равной 0. Эффективное излучение с поверхности квадрата моря, частично покрытого льдом, рассчитывалось по формуле

$$Q_{\text{эф}} = (1 - S_m) Q_v + S_l Q_l,$$

где $Q_{\text{эф}}$ — величина эффективного излучения, ккал/см^2 в месяц;

$Q_{\text{в}}$ — величина $Q_{\text{эф}}$ с поверхности моря, свободной ото льда;
 $Q_{\text{л}}$ — величина $Q_{\text{эф}}$ с поверхности моря, покрытой льдом;
 $S_{\text{л}}$ — площадь, покрытая льдом, в десятых долях площади квадрата.

В юго-западной части Берингова моря эффективное излучение составляет в среднем за год $36,9 \text{ ккал/см}^2$. Максимальные значения $Q_{\text{эф}}$ приурочены к северо-восточной части данного района и составляют 42 ккал/см^2 , а минимальные — на юго-западе — 32 ккал/см^2 . В пространственном распределении отмечается в большей степени меридиональная зональность (рис. 3).

В годовом ходе $Q_{\text{эф}}$ максимум приходится на январь—февраль и составляет $3,7 \text{ ккал/см}^2$, а минимум на июль — 2 ккал/см^2 . Потери тепла на эффективное излучение в среднем за год для всего юго-восточного

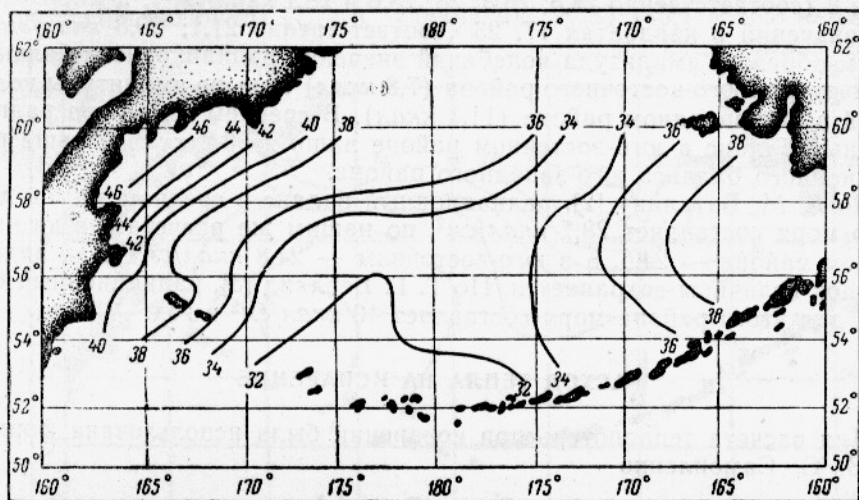


Рис. 3. Распределение эффективного излучения в ккал/см^2 в год.

района Берингова моря составляют $34,6 \text{ ккал/см}^2$. В среднем за год $Q_{\text{эф}}$ увеличивается по акватории данного района с запада на восток (рис. 3). В пространственном распределении $Q_{\text{эф}}$ ясно выражена меридиональная зональность.

Максимум эффективного излучения рассматриваемого района — на востоке ($39,4 \text{ ккал/см}^2$ в год), а минимум — в юго-западной части (32 ккал/см^2 в год). В годовом ходе $Q_{\text{эф}}$ максимум отмечается в ноябре, декабре, январе ($3,9 \text{ ккал/см}^2$ в месяц), а минимум в июне ($1,7 \text{ ккал/см}^2$). В некоторых квадратах наблюдается отклонение времени наступления минимума $Q_{\text{эф}}$ от среднего значения по данному району. Так, в квадратах 6 и 12 минимум наступает в мае, а в квадратах 4, 5, 11, 24, 30 — в июле.

Величина теплопотерь за год за счет эффективного излучения в юго-западном районе больше ($36,9 \text{ ккал/см}^2$), чем в юго-восточном ($34,6 \text{ ккал/см}^2$). Это связано с различием тепловых свойств поверхности моря между этими районами, а также с различием распределения величин влажности воздуха и облачности.

РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС ($Q_{\text{о}} - Q_{\text{эф}}$)

В среднем за год радиационный баланс в юго-западном районе положительный и составляет $24,6 \text{ ккал/см}^2$. В годовом ходе радиационного баланса максимум отмечается в июне ($7,3 \text{ ккал/см}^2$), а минимум — в

декабре—январе ($-2,8$ ккал/см²). С октября по февраль радиационный баланс отрицательный.

В пространственном распределении в среднем за год радиационный баланс достигает максимальных значений в квадратах 9, 10, 11, 13 (соответственно 29,2; 30,5; 29,2; 29,9 ккал/см²), а минимальных значений — в квадратах 37, 38, 39 и 47 (соответственно 19,4; 19,8; 19,5; 19,8 ккал/см²). В юго-восточной части Берингова моря радиационный баланс в среднем за год также положительный и составляет 24,8 ккал/см². Максимум радиационного баланса приходится также и в юго-западном районе на июнь (7,3 ккал/см²), а минимум — на декабрь (-3 ккал/см²). С октября по февраль радиационный баланс в этом районе отрицательный. В пространственном распределении максимальных значений за год радиационный баланс достигает в квадратах 1, 2, 3, 7 и 8 (соответственно 28,5; 28,3; 28; 28,6 и 28,1 ккал/см²), а минимальных значений в квадратах 17, 23 (соответственно 21,1; 20,8 ккал/см²). Таким образом, амплитуда колебаний значений радиационного баланса по акватории юго-восточного района (7,8 ккал) меньше амплитуды колебаний в юго-западном районе (11,1 ккал). В среднем же за год радиационный баланс в юго-восточном районе лишь на 0,2 ккал больше радиационного баланса юго-западного района.

По А. М. Баталину [2], радиационный баланс в среднем за год для всего моря составляет 28,7 ккал/см², по нашим же расчетам, в юго-западном районе — 24,6, а в юго-восточном — 24,8 ккал/см². Как видно, порядок величины сохраняется. По Т. Г. Берлянд [3], радиационный баланс для этого района моря составляет 40 ккал/см² в год.

РАСХОД ТЕПЛА НА ИСПАРЕНИЕ

Для расчета теплотерь при испарении была использована формула В. С. Самойленко

$$Q_{и} = B'_z \cdot u_z (E - e_z) L,$$

- где $Q_{и}$ — величина теплотерь при испарении, ккал/см² в месяц;
 B'_z — коэффициент диффузно-турбулентного испарения, который зависит от высоты z , на которой измеряется скорость ветра и абсолютная влажность воздуха;
 u_z — скорость ветра на уровне z м над поверхностью моря, см/сек;
 E — максимальная упругость водяного пара, насыщающего воздух при температуре поверхности воды, мм;
 e_z — абсолютная влажность воздуха на уровне z м над поверхностью моря, мм;
 L — скрытая теплота парообразования.

При расчете потерь тепла на испарение соленость морской воды не учитывалась из-за отсутствия многолетних данных. Считается, что понижение максимальной упругости насыщения водяных паров над морской водой соленостью 35‰ по сравнению с упругостью над пресной водой составляет всего 2%.

При наличии льда теплотери на испарение рассчитывались также по формуле Самойленко. При этом максимальная упругость насыщения водяных паров определялась уже не по температуре воды, а по температуре воздуха, так как считается, что поверхность льда имеет температуру, близкую к температуре воздуха. В тех случаях, когда лед покрывал не всю площадь квадрата, величина теплотерь определялась по тому же соотношению, что и эффективное излучение в подобном случае.

В юго-западной части Берингова моря потери тепла на испарение в среднем за год составляют 41,3 ккал/см². Наибольшего значения тепло-

потери $Q_{и+к}$ за год достигают вблизи пролива между Командорскими и Алеутскими о-вами ($54,4 \text{ ккал/см}^2$), а наименьшего — в северной части данного района ($22,4 \text{ ккал/см}^2$).

В пространственном распределении $Q_{и+к}$ отмечается широтная зональность — с севера на юг потери тепла на испарение увеличиваются (рис. 4). В годовом ходе $Q_{и+к}$ максимум теплотерь приходится на январь ($5,9 \text{ ккал/см}^2$), а минимум — на июнь, когда наблюдается конденсация водяных паров.

Потери тепла на испарение в юго-восточной части Берингова моря в среднем за год составляют $34,8 \text{ ккал/см}^2$. Максимум теплотерь $Q_{и+к}$ отмечается на юго-востоке рассматриваемого района ($45,8 \text{ ккал/см}^2$), а минимум — в северной части ($13,2 \text{ ккал/см}^2$). Области соприкосновения теплых вод с холодными характерны усиленным испарением при ветре из области холодных вод на теплые. Этим отчасти можно объяснить наибольшие величины $Q_{и+к}$ в квадратах 27,33 ($45,1$ и $45,8 \text{ ккал/см}^2$).

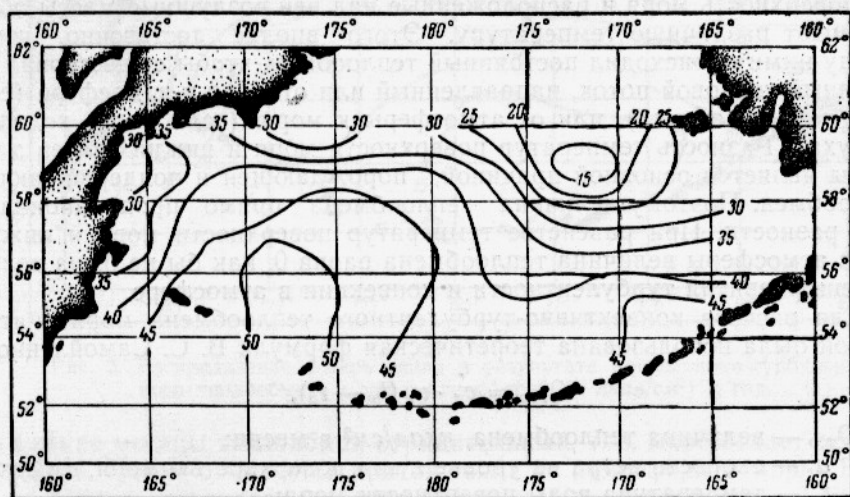


Рис. 4. Распределение потерь тепла в результате испарения (в ккал/см^2) в год (с учетом конденсации).

При переносе теплых воздушных масс на более холодную подстилающую поверхность дефицит влажности уменьшается и $Q_{и+к}$ достигает минимальных значений, а в некоторых случаях имеет место даже конденсация, т. е. преобладает приток тепла в результате конденсации. Этим можно объяснить минимальные потери тепла на испарение в северной части рассматриваемого района.

В годовом ходе потерь тепла на испарение отмечается максимум в ноябре ($6,6 \text{ ккал/см}^2$). В некоторых квадратах время наступления максимума отклоняется от среднего для всего района. Так, в квадратах 25, 26, 32, 37, 38 максимум отмечается в октябре. Минимум $Q_{и+к}$ в среднем для всего юго-восточного района отмечается в июне ($-1,5 \text{ ккал/см}^2$). Другими словами, в летние месяцы (июнь—август) преобладающим является процесс конденсации водяных паров и наблюдаются не потери тепла, а приток.

В юго-западном районе теплотери за счет испарения ($41,3 \text{ ккал/см}^2$) больше, чем в юго-восточном ($34,8 \text{ ккал/см}^2$). Это различие очень велико в холодное время года (с января по апрель). Особенно много поступает тепла за счет конденсации в юго-восточной части в июне. В этом месяце в юго-восточном районе повторяемость туманов может превышать 40%, тогда как в юго-западном районе средняя величина повторяемости туманов составляет около 30%. Обычно наибольшее испарение отмечается

над областями теплых течений, а конденсация водяных паров — над областями холодных. Исходя из этого можно утверждать, что в юго-западном районе приток теплых тихоокеанских вод значительно больше, чем в юго-восточном районе.

По А. М. Баталину, теплотери на испарение в среднем за год по всему морю составляют $40,7 \text{ ккал/см}^2$, а по нашим расчетам, в юго-западном районе — $41,3$, в юго-восточном — $34,8 \text{ ккал/см}^2$. Порядок величин сохраняется, но подчеркивается индивидуальность каждого из этих районов в отношении подстилающей поверхности и распределения влажности и скорости ветра. По Т. Г. Берлянд [3], потери тепла на испарение составляют 20 ккал/см^2 в год.

КОНВЕКТИВНО-ТУРБУЛЕНТНЫЙ ТЕПЛОБМЕН

Поверхность моря и расположенные над ней воздушные массы обычно имеют различную температуру. Этого вполне достаточно, чтобы между ними происходил постоянный теплообмен, чтобы существовал постоянный тепловой поток, направленный или от моря к атмосфере (если море теплее воздуха), или от атмосферы к морю (если море холоднее воздуха). Разность температур поверхности моря и нижних слоев атмосферы является основной причиной, порождающей и поддерживающей теплообмен. Поэтому величина теплообмена прямо пропорциональна этой разности. При равенстве температур поверхности моря и нижних слоев атмосферы величина теплообмена равна 0, как бы не была велика степень развития турбулентности и конвекции в атмосфере.

Для расчета конвективно-турбулентного теплообмена моря с атмосферой была использована теоретическая формула В. С. Самойленко

$$Q_{т.о} = c'_z \cdot u_z (t_w - t_a),$$

где $Q_{т.о}$ — величина теплообмена, ккал/см^2 в месяц;

u_z — скорость ветра на уровне z над поверхностью моря, см/сек ;

t_w — температура воды поверхности моря;

t_a — температура воздуха на уровне z над поверхностью моря;

c'_z — коэффициент, зависящий от уровня, на котором измеряются температура воздуха и скорость ветра, а также от шероховатости поверхности (при $z=8 \text{ м}$, $c'_z = 0,04 \times 10^{-5} \text{ CGS}$).

Теплообмен через лед вычисляли по формуле В. В. Шулейкина

$$Q_{л} = \sigma \frac{\Delta T}{\Delta z},$$

где $Q_{л}$ — теплообмен через лед, ккал/см^2 в год;

σ — коэффициент теплопроводности морского льда, принятый равным $0,003 \text{ (CGS)}$;

Δz — средняя толщина льда, см ;

ΔT — разность температур на верхний (T_1) и нижний (T_2) границах ледяного покрова.

Вследствие того, что температура льда, как правило, не измеряется, разность температур на верхней и нижней границах ледяного покрова приравнивалась к разности средних температур воды и воздуха, когда температура воздуха была выше нуля, температура на верхней границе ледяного покрова принималась равной 0. Толщина льда рассчитывалась по эмпирической формуле Н. Н. Зубова.

$$i^2 + 50i = 8R,$$

где i — толщина льда, см ;

R — число градусо-дней мороза.

В юго-западной части Берингова моря потери тепла в результате теплообмена с атмосферой в среднем за год составляют $16,9 \text{ ккал/см}^2$. Наибольшего значения конвективно-турбулентный теплообмен достигает на севере рассматриваемого района ($25,6 \text{ ккал/см}^2$ в год) и в районе севернее пролива между Командорскими о-вами ($23,1 \text{ ккал}$). Наименьшие значения $Q_{т.о}$ относятся к северу данного района ($4,9 \text{ ккал/см}^2$ в год). В пространственном распределении преобладает широтная зональность (рис. 5). В годовом ходе максимум отмечается в январе—декабре.

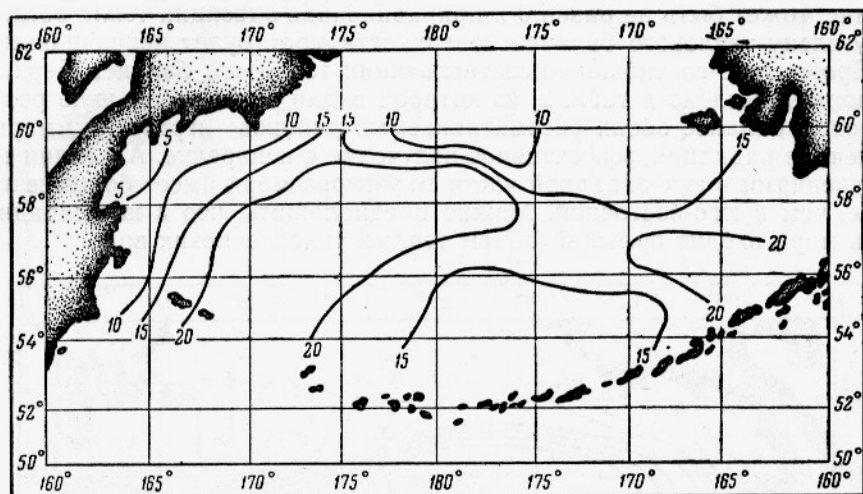


Рис. 5. Распределение потерь тепла в результате конвективно-турбулентного теплообмена моря с атмосферой (в ккал/см^2) в год.

В зимние месяцы теплообмен отрицательный, т. е. море отдает тепло атмосфере. Летом отмечается приток тепла из атмосферы к морю. В июле этот приток составляет $0,4 \text{ ккал/см}^2$. В юго-восточной части Берингова моря потери тепла на конвективно-турбулентный теплообмен моря с атмосферой в среднем за год составляет $16,5 \text{ ккал/см}^2$. По акватории данного района в среднем за год $Q_{т.о}$ увеличивается с северо-запада на юго-восток (рис. 5). Максимальная величина $Q_{т.о}$ отмечается в юго-восточной части ($24,9 \text{ ккал/см}^2$), а минимальная — в западной части рассматриваемого района ($10,4 \text{ ккал/см}^2$).

В годовом ходе $Q_{т.о}$ отмечается максимум в январе ($4,3 \text{ ккал/см}^2$). Летом (май—август) преобладает приток тепла из атмосферы и составляет в июне $0,6 \text{ ккал/см}^2$. При относительно небольшой разности величин конвективно-турбулентного теплообмена юго-западного и юго-восточного районов в среднем за год значительные различия обнаруживаются в холодное время года.

По Баталину, потери тепла в результате конвективно-турбулентного теплообмена моря с атмосферой в среднем за год для всего Берингова моря составляют $15,8 \text{ ккал/см}^2$, по нашим расчетам, в юго-западной части — $16,9$, а в юго-восточной — $16,5 \text{ ккал/см}^2$. Порядок величин сохраняется, но подчеркивается, что максимальные потери относятся именно к этим двум районам Берингова моря. По Берлянд [3], потери тепла в результате конвективно-турбулентного теплообмена составляют 10 ккал/см^2 в год. Такое различие с Атласом теплового баланса для всех составляющих можно объяснить тем, что размеры квадратов ($10 \times 10^\circ$) соизмеримы со всем районом, для которого производился подсчет, но несоизмеримы с отдельными небольшими районами. И поэтому при работе на меньших квадратах и выявляются индивидуальные особенности отдельных районов.

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Определив все составляющие, можно получить величину теплового баланса поверхности моря как алгебраическую сумму компонент. Ввиду того что адвекцию тепла течениями рассчитывать невозможно из-за отсутствия многолетних наблюдений соответствующего ряда лет, будем считать остаточный член в тепловом балансе поверхности моря равным адвекции тепла, а общий тепловой баланс моря — равным 0. Это будет справедливо для многолетних данных, для отдельных же лет тепловой баланс может быть не равен 0 и приравнивание адвекции тепла остаточному члену теплового баланса поверхности моря будет неправильным.

Процентное соотношение составляющих теплового баланса Берингова моря приведено в табл. 2, из которой видно, что наибольшую роль в тепловом балансе обоих рассматриваемых районов играет суммарная солнечная радиация, эффективное излучение и испарение. Адвекция тепла течениями в юго-западной части Берингова моря имеет большее значение, чем в юго-восточной. Можно предположить, что в юго-западную часть моря входит большой объем теплых тихоокеанских вод.

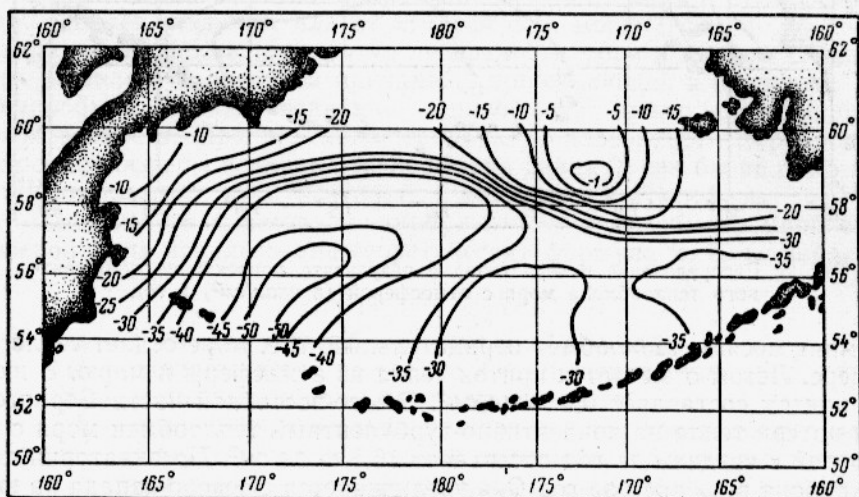


Рис. 6. Распределение теплового баланса поверхности моря (в kcal/cm^2) в год.

На рис. 6 показано распределение средних годовых значений величины теплового баланса поверхности моря в обоих районах. Основной особенностью юго-западного района является то, что он почти целиком находится в полузамкнутой области дефицита тепла. Этот дефицит может компенсироваться в результате прямого вторжения тихоокеанских вод через пролив между Командорскими и Ближними о-вами. В юго-восточном районе также имеется область дефицита тепла, который компенсируется за счет теплопритока из океана через восточные проливы Алеутской гряды. Однако здесь строение поля теплового баланса поверхности моря выражено менее отчетливо, чем в предыдущем районе. Эти результаты совпадают с данными Баталина. Расчет осредненных величин теплового баланса поверхности этих двух районов Берингова моря, важных для рыбного промысла, дает возможность создать фоновые представления о тепловом режиме вод моря.

В юго-западном районе тепловой баланс поверхности моря в среднем за год отрицательный и составляет $33,8 \text{ kcal/cm}^2$. В годовом ходе положительные значения теплового баланса поверхности моря отмечаются с мая по сентябрь с максимумом в июне ($7,3 \text{ kcal/cm}^2$), а отрицательные значения — с октября по апрель с минимумом в январе ($-12,3 \text{ kcal/cm}^2$).

Таблица 2

| Месяц | Приход | | | | Расход | | | | | Приход | | | | Расход | | | | |
|--------------------|------------------------------------|--|-------------|-------|--------------------------|-----------|--|-------|--------------------|------------------------------------|--|-------------|-------|--------------------------|-----------|--|-------|--------------------|
| | суммарная солнечная радиация | конвективно- турбулентный теплообмен | конденсация | сумма | эффективное излучение | испарение | конвективно- турбулентный теплообмен | сумма | тепловой баланс | суммарная солнечная радиация | конвективно- турбулентный теплообмен | конденсация | сумма | эффективное излучение | испарение | конвективно- турбулентный теплообмен | сумма | тепловой баланс |
| | Юго-западный район | | | | | | | | | Юго-восточный район | | | | | | | | |
| I | 0,9 | 0 | 0 | 0,9 | 3,7 | 5,9 | 3,6 | 13,2 | -12,3 | 1,1 | 0 | 0 | 1,1 | 3,9 | 4,0 | 4,3 | 12,2 | -11,1 |
| II | 2,1 | 0 | 0 | 2,1 | 3,7 | 4,6 | 3,1 | 11,4 | -9,3 | 2,2 | 0 | 0 | 2,2 | 2,8 | 2,0 | 2,3 | 7,1 | -4,9 |
| III | 4,8 | 0 | 0 | 4,8 | 3,8 | 3,9 | 2,2 | 9,9 | -5,1 | 4,6 | 0 | 0 | 4,6 | 3,4 | 5,5 | 1,6 | 10,5 | -5,9 |
| IV | 7,0 | 0 | 0 | 7,0 | 3,0 | 3,4 | 1,2 | 7,6 | -0,6 | 7,0 | 0 | 0 | 7,0 | 3,0 | 4,7 | 1,4 | 9,1 | 2,1 |
| V | 9,2 | 0 | 0 | 9,2 | 2,4 | 1,2 | 0,1 | 3,7 | 5,5 | 8,9 | 0 | 0 | 8,9 | 2,2 | 1,1 | 0,1 | 3,4 | 5,5 |
| VI | 9,7 | 0 | 0,1 | 9,8 | 2,4 | 0 | 0,1 | 2,5 | 7,3 | 9,3 | 0,6 | 1,5 | 11,4 | 1,7 | 0 | 0 | 1,7 | 9,7 |
| VII | 9,1 | 0,4 | 0 | 9,5 | 2,0 | 0,6 | 0 | 2,6 | 6,9 | 8,8 | 0,4 | 0,2 | 9,4 | 1,4 | 0 | 0 | 1,9 | 7,5 |
| VIII | 7,4 | 0,2 | 0 | 7,6 | 2,4 | 0,9 | 0 | 3,3 | 4,3 | 7,1 | 0,3 | 0,5 | 7,9 | 2,0 | 0 | 0 | 2,0 | 5,9 |
| IX | 5,6 | 0 | 0 | 5,6 | 2,7 | 2,2 | 0 | 4,9 | 0,7 | 4,9 | 0 | 0 | 4,9 | 2,5 | 1,7 | 0,4 | 4,6 | 0,3 |
| X | 3,3 | 0 | 0 | 3,3 | 3,7 | 6,1 | 1,4 | 11,2 | -7,9 | 3,2 | 0 | 0 | 3,2 | 3,4 | 5,7 | 1,7 | 10,8 | -7,6 |
| XI | 1,4 | 0 | 0 | 1,4 | 3,5 | 7,2 | 2,6 | 13,3 | -11,9 | 1,5 | 0 | 0 | 1,5 | 3,9 | 6,6 | 2,0 | 12,5 | -11,0 |
| XII | 0,8 | 0 | 0 | 0,8 | 3,6 | 5,4 | 3,2 | 12,2 | -11,4 | 0,8 | 0 | 0 | 0,8 | 3,9 | 5,7 | 4,0 | 13,6 | -12,8 |
| Средне- годовая | 61,3 | 0,6 | 0,1 | 62,0 | 36,9 | 41,4 | 17,5 | 95,8 | -33,8 | 59,4 | 1,3 | 1,2 | 62,9 | 34,6 | 37,0 | 17,8 | 89,4 | -26,5 |
| % | 32 | 0,3 | 0,1 | — | 19,3 | 21,6 | 9,1 | — | 17,6 | 33,2 | 0,7 | 1,2 | — | 19,4 | 20,7 | 10,0 | — | 14,8 |

Таблица 3

| № квадрата | Месяцы | | | | | | | | | | | | Год |
|---------------------|--------|-------|-------|------|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Юго-западная часть | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | — | 5,3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 5 | — | 7,3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 6 | — | 8,3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 7 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 8 | —12,0 | —7,7 | —3,9 | —0,4 | — | 8,2 | — | — | — | —5,8 | —12,5 | —11,0 | — |
| 9 | —13,5 | —9,6 | —5,4 | —2,4 | — | 9,0 | — | — | — | —6,3 | —12,8 | —10,7 | — |
| 10 | —13,1 | —11,6 | —4,9 | —1,5 | 5,5 | 7,9 | — | — | — | —6,4 | —13,1 | —11,7 | — |
| 11 | —13,6 | —12,1 | —10,9 | —1,0 | 5,5 | 7,6 | — | 6,4 | — | —6,6 | —12,5 | —10,8 | — |
| 12 | —14,3 | —11,6 | —10,4 | —0,2 | 5,5 | 7,9 | 6,6 | 6,1 | — | —5,7 | —12,5 | —11,1 | — |
| 13 | —15,3 | —11,7 | —9,0 | —0,2 | 5,8 | 7,9 | 6,8 | 4,2 | — | —5,3 | —8,5 | —10,2 | — |
| 14 | —14,6 | —4,5 | —5,9 | 0,6 | 5,3 | 8,0 | 6,5 | 4,6 | — | —4,1 | —8,5 | —11,1 | — |
| 15 | —12,5 | —9,8 | —6,7 | —2,8 | 4,4 | 8,7 | 5,8 | 4,9 | 1,1 | —6,8 | —11,4 | —11,4 | —36,5 |
| 16 | —13,1 | —10,8 | —6,5 | —2,3 | 4,8 | 8,2 | 6,2 | 5,1 | 0,9 | —6,4 | —12,4 | —12,5 | —38,8 |
| 17 | —14,1 | —12,4 | —8,2 | —2,3 | 4,9 | 7,4 | 5,8 | 3,8 | 0,9 | —7,4 | —12,8 | —12,6 | —47,0 |
| 18 | —15,7 | —13,6 | —10,4 | —2,1 | 5,4 | 6,6 | 6,1 | 4,8 | 0,2 | —7,2 | —13,4 | —11,1 | —50,4 |
| 19 | —15,1 | —12,3 | —9,7 | —1,6 | 5,6 | 5,8 | 5,9 | 6,4 | —0,7 | —6,0 | —12,3 | —9,7 | —43,7 |
| 20 | —14,6 | —10,2 | —8,7 | —0,7 | 5,0 | 5,1 | 6,0 | 4,6 | —0,5 | —5,0 | —9,5 | —11,5 | —40,2 |
| 21 | —16,2 | —2,9 | —2,8 | 2,3 | 4,4 | 6,9 | 6,5 | 5,2 | 1,6 | —5,4 | —9,3 | —11,5 | —21,2 |
| 22 | —14,4 | —10,6 | —7,3 | —2,1 | 5,9 | 6,1 | 6,1 | 4,4 | 0,5 | —8,5 | —13,7 | —11,7 | —45,3 |
| 23 | —15,2 | —11,7 | —7,2 | —3,0 | 4,8 | 6,8 | 6,1 | 3,9 | 1,3 | —7,5 | —13,8 | —12,3 | —47,8 |
| 24 | —14,6 | —13,4 | —6,4 | —2,8 | 4,8 | 6,4 | 6,2 | 4,0 | 1,1 | —8,0 | —14,7 | —10,3 | —53,9 |
| 25 | —15,3 | —12,7 | —9,2 | —3,2 | 4,4 | 5,7 | 6,2 | 4,4 | 0,8 | —7,6 | —13,5 | —10,7 | —50,7 |
| 26 | —14,4 | —11,7 | —7,9 | —1,5 | 4,6 | 4,9 | 6,0 | 3,9 | 0,7 | —5,1 | —13,3 | —11,0 | —44,8 |
| 27 | —12,9 | —10,0 | —4,4 | —0,4 | 6,2 | 5,4 | 6,5 | 4,8 | —0,1 | —3,8 | —9,0 | —11,2 | —28,9 |
| 28 | —10,4 | —1,8 | 1,6 | —0,3 | 6,0 | 6,7 | 6,9 | 3,2 | —0,4 | —4,4 | —13,6 | —9,9 | —15,6 |
| 29 | —14,5 | —8,8 | —7,2 | —2,8 | 5,8 | 6,8 | 7,4 | 4,3 | 2,2 | —9,8 | —11,7 | —12,0 | —40,3 |
| 30 | —15,2 | —9,8 | —7,3 | —3,0 | 5,2 | 7,1 | 7,7 | 4,1 | 2,3 | —10,2 | —10,5 | —11,2 | —40,8 |
| 31 | —14,7 | —11,6 | —7,6 | —3,1 | 4,6 | 6,7 | 7,2 | 3,9 | 1,8 | —10,3 | —10,3 | —10,9 | —43,7 |
| 32 | —13,0 | —12,6 | —6,2 | —2,7 | 4,8 | 6,1 | 6,9 | 4,0 | 1,1 | —9,1 | —10,6 | —11,6 | —42,9 |
| 33 | —13,2 | —11,2 | —4,5 | —2,3 | 5,4 | 5,9 | 7,8 | 4,5 | 0,9 | —7,9 | —12,0 | —11,5 | —38,1 |
| 34 | —13,8 | —9,6 | 1,6 | 1,0 | 4,5 | 5,8 | 7,0 | 4,0 | —0,8 | —6,7 | —12,6 | —11,7 | —31,3 |
| 35 | —9,1 | —7,7 | 0,8 | 4,0 | 6,4 | 7,8 | 7,1 | 5,3 | 0,0 | —9,7 | —12,7 | —5,7 | —13,4 |
| 36 | —5,4 | —0,8 | —1,7 | —2,2 | 7,4 | 9,3 | 7,3 | 6,9 | 0,9 | —9,3 | —12,0 | —11,7 | —11,3 |
| 37 | —12,3 | —13,2 | —5,5 | —4,3 | 7,1 | 6,3 | 6,8 | 4,8 | 1,2 | —10,9 | —12,1 | —11,6 | —43,7 |
| 38 | —14,6 | —11,8 | —9,1 | —4,2 | 6,4 | 6,3 | 6,0 | 4,6 | 1,2 | —10,8 | —10,6 | —11,5 | —48,1 |
| 39 | —14,9 | —12,3 | —9,0 | —3,1 | 6,0 | 6,6 | 6,1 | 3,2 | 1,3 | —10,9 | —10,3 | —10,7 | —48,0 |
| 40 | —14,2 | —12,7 | —8,9 | —2,2 | 6,0 | 6,1 | 7,0 | 2,7 | 0,2 | —10,3 | —10,8 | —11,2 | —49,3 |
| 41 | —13,6 | —12,5 | —6,2 | 0,5 | 6,6 | 5,7 | 7,9 | 3,3 | —0,2 | —0,9 | —10,6 | —11,4 | —39,5 |
| 42 | —14,3 | —11,6 | —0,2 | 2,3 | 5,6 | 5,8 | 9,1 | 3,7 | —1,1 | —7,2 | —14,4 | —11,2 | —33,5 |
| 43 | —7,0 | —6,1 | 1,9 | 3,9 | 5,8 | 6,4 | 9,4 | 2,8 | —0,9 | —6,7 | —13,3 | —13,6 | —17,4 |
| 44 | —2,2 | —1,9 | 2,1 | 4,1 | 4,7 | 7,7 | 7,4 | 3,8 | —0,4 | —6,6 | —15,1 | —10,2 | —6,6 |
| 45 | —6,3 | —6,8 | 2,2 | 2,2 | 5,9 | 9,5 | 7,6 | 6,2 | —0,5 | —8,2 | —10,5 | —15,8 | —14,5 |
| 46 | —8,3 | —7,4 | 2,3 | 1,2 | 6,4 | 9,6 | 7,3 | 4,8 | —0,5 | —8,9 | —10,0 | —11,9 | —15,3 |
| 47 | —8,9 | —8,4 | 1,0 | 0,7 | 6,9 | 7,4 | 7,2 | 4,8 | —0,1 | —10,1 | —10,4 | —10,6 | —20,5 |
| 48 | —10,8 | —10,7 | 1,5 | 1,3 | 6,8 | 7,7 | 7,7 | 3,2 | 0,3 | —8,7 | —9,3 | —11,4 | —22,5 |
| 49 | —9,1 | —9,9 | —2,4 | 3,4 | 6,0 | 8,2 | 8,4 | 4,3 | 0,1 | —7,4 | —10,5 | —11,4 | —20,3 |
| 50 | —7,9 | —5,7 | 0,1 | 3,3 | 7,3 | 8,7 | 8,7 | 4,5 | —0,1 | —8,0 | —12,2 | —11,7 | —13,0 |
| 51 | —7,6 | —4,7 | — | — | 7,3 | 8,6 | 8,8 | 4,4 | 0,1 | —10,8 | —13,7 | —12,3 | — |
| Среднее | —12,3 | —9,3 | 5,1 | —0,6 | 5,5 | 7,3 | 6,9 | 4,3 | 0,7 | —7,9 | —11,9 | —11,4 | —33,8 |
| Юго-восточная часть | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | —7,7 | —4,2 | —5,7 | —2,3 | 4,1 | 8,2 | 6,5 | 5,3 | 0,4 | —7,3 | —11,1 | —11,3 | —25,1 |
| 2 | —8,2 | —4,0 | —5,6 | —1,3 | 4,2 | 8,2 | 6,2 | 5,5 | 0,6 | —6,6 | —11,7 | —10,7 | —23,4 |
| 3 | —9,4 | —3,1 | —5,5 | —2,6 | 4,3 | 8,1 | 6,3 | 5,7 | 0,7 | —6,4 | —12,2 | —10,2 | —24,3 |
| 4 | —10,4 | —5,1 | —5,1 | —3,0 | 4,8 | 7,8 | 5,9 | 5,5 | 0,4 | —6,8 | —12,6 | —11,0 | —29,5 |
| 5 | —10,3 | —7,3 | —7,6 | —2,2 | 4,7 | 6,3 | 5,9 | 5,6 | 0,9 | —7,6 | —12,9 | —11,8 | —36,3 |
| 6 | —11,7 | —9,7 | —6,8 | —4,1 | 5,4 | 7,2 | 7,6 | 5,2 | 1,3 | —9,0 | —13,4 | —12,3 | —40,3 |
| 7 | —7,5 | —4,8 | —6,3 | —1,6 | 4,1 | 8,2 | 7,0 | 5,1 | 0,1 | —6,7 | —10,9 | —11,6 | —24,9 |
| 8 | —7,2 | —4,2 | —5,7 | —2,7 | 4,1 | 8,5 | 6,7 | 5,4 | 0,5 | —6,4 | —11,5 | —9,8 | —22,3 |
| 9 | —9,5 | —4,4 | —6,4 | —2,7 | 4,5 | 8,5 | 5,9 | 5,8 | 0,9 | —6,0 | —11,9 | —10,9 | —26,2 |
| 10 | —10,2 | —5,5 | —5,2 | —3,7 | 4,4 | 8,3 | 6,4 | 5,7 | 0,9 | —6,5 | —12,1 | —11,1 | —28,6 |

| № квадрата | Месяцы | | | | | | | | | | | | Год |
|------------|--------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| 11 | -10,0 | -7,4 | -5,9 | -4,0 | 5,9 | 7,9 | 6,0 | 5,3 | 0,8 | -7,3 | -13,2 | -11,9 | -33,8 |
| 12 | -11,6 | -9,0 | -6,8 | -4,0 | 5,7 | 8,4 | 8,3 | 5,4 | 1,0 | -9,1 | -13,2 | -12,3 | -37,2 |
| 13 | -8,6 | -5,7 | -6,8 | -1,7 | 4,0 | 8,1 | 7,8 | 5,1 | 0,1 | -7,0 | -11,4 | -12,0 | -28,1 |
| 14 | -9,8 | -5,1 | -7,0 | -2,6 | 3,8 | 8,1 | 5,3 | 5,7 | -0,1 | -5,9 | -10,7 | -11,7 | -30,0 |
| 15 | -11,4 | -5,6 | -7,1 | -2,9 | 3,4 | 11,3 | 4,6 | 6,1 | 0,7 | -6,0 | -11,0 | -12,0 | -29,9 |
| 16 | -16,4 | -7,1 | -5,8 | -2,4 | 4,1 | 11,8 | 6,8 | 5,6 | 1,0 | -7,4 | -11,0 | -11,4 | -32,6 |
| 17 | -12,9 | -7,6 | -4,9 | -4,7 | 6,6 | 11,8 | 7,8 | 7,7 | 2,8 | -8,8 | -12,1 | -12,4 | -26,7 |
| 18 | -10,8 | -2,3 | -3,5 | -1,1 | 7,4 | 13,9 | 10,2 | 7,0 | 2,6 | -8,4 | -10,9 | -12,8 | -4,1 |
| 19 | -11,1 | -1,2 | -2,7 | 2,4 | 7,5 | 14,9 | 10,8 | 7,1 | -2,1 | -7,9 | -10,0 | -13,3 | -3,2 |
| 20 | -8,3 | -6,2 | -7,7 | -1,7 | 4,4 | 8,8 | 4,1 | 4,8 | 0,1 | -7,0 | -10,8 | -12,1 | -31,6 |
| 21 | -9,4 | -6,2 | -7,8 | -1,9 | 4,5 | 8,7 | 5,0 | 5,0 | 0,2 | -5,8 | -11,0 | -11,9 | -30,6 |
| 22 | -11,2 | -6,5 | -7,1 | -3,0 | 3,9 | 7,6 | 5,5 | 5,4 | 0,5 | -5,2 | -11,4 | -13,0 | -34,5 |
| 23 | -12,0 | -8,0 | -8,2 | -2,2 | 4,9 | 8,5 | 7,9 | 8,8 | 0,5 | -7,1 | -11,2 | -12,9 | -31,0 |
| 24 | -13,6 | -8,1 | -3,9 | -3,1 | 6,6 | 10,1 | 8,6 | 10,0 | 3,0 | -8,7 | -11,6 | -12,4 | -23,1 |
| 25 | -8,5 | 0,8 | 1,4 | -0,3 | 7,6 | 12,4 | 10,1 | 9,6 | -0,8 | -9,1 | -10,2 | -13,1 | -0,1 |
| 26 | -11,0 | 0,3 | -2,1 | 2,2 | 7,3 | 14,3 | 9,8 | 8,8 | -1,7 | -8,5 | -9,8 | -13,5 | -3,9 |
| 27 | -10,3 | -6,7 | -8,6 | -2,0 | 5,6 | 9,5 | 4,8 | 4,6 | 0,1 | -7,2 | -10,4 | -12,4 | -33,0 |
| 28 | -12,4 | -7,9 | -7,9 | -1,9 | 4,8 | 9,1 | 5,9 | 5,7 | 1,8 | -7,0 | -11,9 | -13,5 | -35,2 |
| 29 | -15,3 | -7,9 | -6,8 | -1,9 | 8,1 | 9,8 | 7,8 | 5,4 | 0,9 | -8,9 | -11,1 | -12,8 | -32,7 |
| 30 | -12,8 | 2,8 | -3,7 | -2,8 | 6,3 | 10,7 | 8,4 | 5,9 | 3,1 | -8,2 | -9,5 | -13,3 | -13,1 |
| 31 | -10,6 | 2,1 | -3,6 | -1,4 | 7,2 | 11,4 | 10,0 | 6,3 | -0,7 | -8,3 | -9,2 | -15,0 | -11,8 |
| 32 | -10,8 | 1,2 | -2,4 | -0,2 | 6,7 | 11,7 | 9,9 | 6,2 | -2,9 | -9,3 | -8,1 | -13,4 | -11,4 |
| 33 | -10,4 | -9,0 | -9,4 | -3,8 | 6,2 | 9,0 | 7,0 | 5,0 | 0,1 | -8,9 | -10,7 | -13,2 | -38,1 |
| 34 | -13,7 | -7,6 | -8,4 | -2,5 | 5,9 | 8,6 | 7,2 | 4,7 | 0,9 | -7,5 | -10,0 | -14,6 | -37,0 |
| 35 | -15,4 | -9,0 | -7,3 | -2,0 | 7,1 | 8,8 | 7,3 | 5,2 | 0,8 | -8,4 | -8,8 | -15,5 | -37,2 |
| 36 | -10,7 | -0,0 | -4,7 | -2,0 | 6,9 | 8,9 | 7,6 | 4,9 | 0,0 | -7,7 | -8,1 | -15,1 | -20,0 |
| 37 | -10,3 | -1,0 | -4,2 | -2,6 | 6,5 | 10,6 | 8,7 | 5,2 | -2,5 | -8,3 | -8,6 | -13,4 | -17,5 |
| 38 | -10,9 | -1,0 | -3,3 | -0,2 | 6,9 | 11,8 | 8,3 | 4,4 | -3,1 | -8,8 | -8,3 | -13,4 | -15,6 |
| Среднее | 11,1 | -4,9 | -5,9 | -2,1 | 5,5 | 9,7 | 7,5 | 5,9 | 0,3 | -7,6 | -11,0 | -12,8 | -26,9 |

В пространственном распределении теплового баланса поверхности юго-западного района моря максимальные потери тепла относятся к квадратам 18, 24, 25 и 40 (соответственно $-50,4$; $-53,9$; $-50,7$; $-49,3$ ккал/см² в год), минимальные — к квадратам 36, 44, 45 и 50 (соответственно $-11,3$; $-6,6$; $-14,5$; -13 ккал/см² в год). В юго-восточной части Берингова моря тепловой баланс поверхности в среднем за год также отрицателен и составляет 26,5 ккал/см² (табл. 3). Положительные значения теплового баланса поверхности моря отмечаются с мая по сентябрь с максимумом в июне (9,7 ккал/см²), а отрицательные значения — с октября по апрель с минимумом в декабре ($-12,8$ ккал/см²). Максимальные потери тепла в юго-восточном районе в среднем за год отмечаются в квадратах 6, 12, 33, 34 и 35 (соответственно $-40,3$; $-37,2$; -37 ; $-37,2$ ккал/см²), а минимальные потери тепла — в квадратах 18, 19, 25 и 26 (соответственно -41 ; $-3,2$; $-0,1$; $-3,9$ ккал/см²). По Баталину [2], тепловой баланс поверхности всего Берингова моря в среднем за год составляет 28,7 ккал/см², по нашим расчетам, в юго-западной части — 33,8 и в юго-восточной — 26,5 ккал/см². Порядок величин сохраняется, но подчеркивается индивидуальность каждого из выбранных районов. Юго-западная часть имеет больший дефицит тепла по сравнению с юго-восточной.

По Берлянд [3], в юго-западной части море получает 20 ккал/см² тепла в год, а в юго-восточной потери тепла составляют около 20 ккал/см² в год.

Тепловой режим моря, как известно, складывается из теплового баланса поверхности моря, адвекции тепла и распределения тепла на глубинах. Полный тепловой баланс может быть равен нулю только в среднем многолетнем аспекте. Отрицательные его значения соответствуют более холодному году, а положительные — теплоту. Поэтому для от-

дельных лет необходимо определять адвекцию тепла каким-нибудь независимым способом.

Определив благодаря расчету теплового баланса поверхности моря зоны вторжения теплых тихоокеанских вод, можно объяснить повышение температуры воды и особенно воздуха Берингова моря по сравнению с Охотским. Холодные воздушные массы с азиатского материка, уже несколько прогреваясь над Охотским морем, как бы отдают часть холода. Проходя над Камчаткой, они не успевают еще охладиться ввиду малых размеров этого полуострова и, вторгаясь в район Берингова моря, встречают теплые зоны вторжения тихоокеанских вод, где еще более повышается температура воздушных масс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате расчета теплового баланса юго-западного и юго-восточного районов Берингова моря выяснилось, что наибольшие потери тепла приурочены к первому из этих районов и если в многолетнем аспекте можно предполагать компенсацию этого дефицита тепла притоком теплых тихоокеанских вод, то в отдельные годы эта компенсация может происходить неполностью. На основании этого можно сказать, что юго-западная часть моря холоднее юго-восточной. В действительности, средняя температура слоя 0—200 м в отдельные годы примерно на 3° меньше температуры соответствующего слоя юго-восточной части моря.

При расчете температурных колебаний, распространяющихся в глубь моря, выполненных в лаборатории физики моря Дальневосточного государственного университета для центров отдельных квадратов, рассматриваемых районов, оказалось, что в области вторжения тихоокеанских вод в верхнем 200-метровом слое расчетные данные температуры ниже наблюдаемых. Такое расхождение обусловлено в значительной мере адвекцией тепла с юга. Следовательно, этим способом можно определить вертикальное строение потока тихоокеанских вод, обеспечивающих эту адвекцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баталин А. М. Тепловой баланс дальневосточных морей. Известия АН СССР. Серия геофизическая, № 7, 1959.
2. Баталин А. М. Опыт расчета теплового баланса Берингова моря. Тр. Океанограф. комиссии АН СССР. Т. VII. М., 1960.
3. Берлянд Т. Г. Атлас теплового баланса. Под ред. М. И. Будыко. Л., Гидрометеиздат, 1955.
4. Будыко М. И., Берлянд Т. Г., Зубенок Л. И. Методика климатологических расчетов составляющих теплового баланса. Тр. ГГО. Вып. 48 (110), 1954.
5. Зубов Н. Н. Морские воды и льды. М., Гидрометеиздат, 1938.
6. Климатический и гидрологический атлас Берингова моря. Под ред. В. С. Самойленко. М., Гидрометеиздат, 1956.
7. Самойленко В. С. Современная теория океанического испарения и ее практическое применение. Тр. ГОИН. Вып. 21 (33), 1952.
8. Шулейкин В. В. Физика моря. М., Изд-во АН СССР, 1953.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ
к книге «Советские рыбохозяйственные исследования
в северо-восточной части Тихого океана»

| Страница | Строка | Напечатано | Следует читать |
|----------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 56 | 14 снизу | условная вертикальной стенки | условная вертикальная стенка |
| 60 | 19 снизу | исключениям | искажениям |
| 83 | 7 сверху | к северо-восточной на юго-западе | к северо-западной на юго-востоке |
| 83 | 8 сверху | | |
| 113 | 22 снизу | 14 мм | 14 м |
| 175 | Подпись под рис. 4 | А — возраст 9 +; Б — возраст 3 + | А — возраст 3 +; Б — возраст 9 + |
| 176 | Подпись под рис. 5, 10 сверху | в — зависимости | б — зависимости |
| 191 | Таблица 10, 3 снизу | 10 | 100 |
| 196 | Подпись под рис. 10 | а — июнь — сентябрь | а — июнь — сентябрь 1957 г. |
| 244 | 13 сверху | или первый, чаще второй | или первый, реже второй |
| 246 | 29 снизу | по-видимому, был, а большая часть | по-видимому, была большая часть |