

В. В. ТИМОНОВ и П. И. КУЗЬМИН

**ПРИБЛИЖЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА
БЕЛОГО МОРЯ***

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 15 IX 1938)

Детальное решение проблемы теплового баланса для Белого моря еще невозможно. Необходимые для этого наблюдения были только недавно начаты на Беломорской методической станции Гидрологического института. Представлялось поэтому своевременным определить по эмпирическим формулам хотя бы ориентировочно величины главных компонент теплового баланса моря. Выяснение относительного значения отдельных процессов, в особенности выявление теплового эффекта водообмена Белого моря с Баренцовым, представляло при этом выдающийся интерес.

Все исходные данные были взяты в виде средних месячных, главным образом по наблюдениям наиболее мористо расположенных береговых гидрометеорологических станций и постов за 1915—1930 гг.; только температуру поверхности моря за июнь—сентябрь удалось вычислить по судовым наблюдениям 1890—1935 гг.

Отсутствие данных, достаточных для определения изменений тепло-содержания моря по месяцам, как для многолетнего периода, так и для отдельных лет, побудило аналогично тому, как это сделал В. В. Шулейкин⁽¹⁾, рассматривать только «средний» год, имеющий нулевой итог теплового баланса.

В отношении вычислений отдельных слагаемых теплового режима ниже отмечаются лишь особенности примененной методики**.

Так, при вычислении радиационных компонент было учтено альbedo, принимавшееся для суммарного потока в связи с данными Онгстрема в среднем равным 10% для открытой воды и 50%—для части поверхности, занятой льдами. Эффективное излучение удалось вычислить отдельно на основе эмпирической формулы Онгстрема и формулы полного излучения черного тела, а также формулы Ричардсона. При определении потерь тепла на испарение и конвекцию был использован ряд формул, в том числе формулы, применяющиеся при расчетах прудов-холодильников. Полученная сумма совместно с потерями на излучение была проверена по формулам Шулейкина⁽¹⁾.

При учете теплоты ледовых процессов в силу отсутствия наблюдений над мощностью пловучего льда допускалось, что рост толщины пловучего

* Доложено на сессии Группы географии и геофизики Академии Наук СССР 30 мая 1938 г.

** См. также примечание к табл. 1.

Таблица 1

Общая сводка результатов вычислений компонент теплового баланса в мал. кал. на см² поверхности моря

№ ряда	Название	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1	Коэффициент прозрачности атмосферы	0.791	0.791	0.791	0.790	0.789	0.785	0.778	0.776	0.784	0.789	0.790	0.791	—
2	Возможная сумма тепла прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность	240	1 430	5 380	11 320	16 850	19 240	17 250	12 280	6 540	2 110	400	80	93 220
3	Прямая и диффузная солнечная радиация	120	760	3 010	6 450	9 270	11 380	10 700	6 750	3 470	1 010	190	40	53 150
4	Альbedo поверхности моря в долях суммарного потока радиации	0.37	0.42	0.43	0.38	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.24	—
5	Радиация прямая и диффузная, поглощенная поверхностью моря	80	440	1 720	4 000	7 420	10 230	9 640	6 070	3 120	910	170	40	43 840
6	Эффективное излучение	-3 380	-2 740	-2 980	-2 670	-2 360	-2 160	-3 160	-2 850	-2 730	-3 210	-3 360	-3 620	-35 22
7	Радиационный баланс	-3 300	-2 300	-1 260	1 330	5 060	8 070	6 480	3 220	390	-2 300	-3 190	-3 580	8 620
8	Теплота конвекции и испарения	-3 010	-1 480	-1 670	-1 320	-1 260	-1 170	-3 070	-2 700	-2 190	-2 360	-2 670	-2 760	-25 660
9	Теплота процессов ледообразования и таяния	2 060	1 250	880	-10	-2 250	-250	0	0	0	0	0	520	2 200
10	Тепловой баланс на поверхности моря	-4 250	-2 530	-2 050	0	1 550	6 650	3 410	520	-1 800	-4 660	-5 860	-5 820	-14 840
11	Теплота материкового стока	0	0	10	20	710	840	500	310	180	30	-20	-10	2 570
12	Тепловой баланс с учетом тепла рек	-4 250	-2 530	-2 040	20	2 260	7 490	3 910	830	-1 620	-4 630	-5 880	-5 830	-12 270

Примечания. К ряду 2. Вычислена по Анго (3, стр. 45) для широты 65°30'. Сопоставление результатов с Шулейкиным (1, стр. 18) дало расхождение в годовой сумме всего около 1.5%, с Миланковичем — не более 5%.
 К ряду 3. Диффузная радиация принята в размере 15% от прямой; при переходе от возможных сумм к вероятным облачности учитывалась по Савинову с коэффициентом 0.70.

льда равен росту, наблюденному в зоне припая; рост же льда зимой (с I по IV) на пространстве открытой воды учитывался для каждого месяца по формуле Быдина ($E_m = 11 \sqrt{\sum T}$).

Далее было принято во внимание, что в силу непрерывного выноса льдов через Горло только часть образующегося за зиму льда тает в пределах моря, в результате чего море «сберегает» некоторое количество тепла. Объем выносимого за зиму через Горло льда, подсчитанный очень грубо по результирующим ветрам на о. Сосновец за 1916—1930 гг. и по отрывочным данным о скорости постоянного течения, получился около 15 км^3 , что составляет около $\frac{2}{5}$ всего образующегося в море количества льда.

Результаты вычислений сведены в табл. 1. Преобладающее влияние на ход сезонных изменений теплового баланса на поверхности моря имеет резко колеблющийся радиационный баланс. Период непосредственной аккумуляции солнечного тепла длится с начала апреля по середину сентября при максимуме аккумуляции в июле. Максимум потерь имеет место в ноябре и декабре, пока море еще в большей части свободно от льда.

В сумме за год потери тепла через поверхность значительно превосходят поступление; годовой итог теплового баланса на поверхности моря отрицателен и составляет около $-14840 \text{ м. кал. на см}^2$.

Только около $2570 \text{ м. кал. на см}^2$ возмещается теплотой материкового стока, оставшаяся же невозмещенной сумма, равная приблизительно $12270 \text{ м. кал. на см}^2$, должна рассматриваться как годовой итог единственного, оставшегося неучтенным слагаемого — теплового баланса водообмена с Баренцовым морем. Тем самым при всей неточности полученной величины, равно как и всего подсчета, можно считать доказанным важный факт заметного отепляющего Белое море эффекта его водообмена с Баренцовым морем.

Предположительно удалось наметить и наиболее вероятный ход изменений теплоты водообмена по месяцам. Для этого на основании глубоководных наблюдений Беломорской станции Гидрологического института за 1932—1935 гг. и данных К. М. Дерюгина⁽²⁾ были приблизительно определены моменты наступления максимума и минимума теплосодержания деятельного слоя Белого моря*, а тем самым и моменты равенства нулю полного теплового баланса моря. Отсюда было легко найти для указанных моментов величины теплоты водообмена. Предположительно построенная по ним кривая показала с большой степенью вероятности, что в результате водообмена Белое море осенью и в начале зимы, примерно с сентября по декабрь, отепляется, а в конце зимы и весной (с февраля по июнь) теряет тепло. Этот важный, хотя и предположительный вывод находится в удовлетворительном соответствии с представлениями о гидрологическом режиме Горла Белого моря.

Вероятная кривая хода теплового баланса водообмена была также использована для того, чтобы получить вероятную кривую полного баланса и кривую изменений теплосодержания моря, а также определить грубо-приближенную амплитуду колебаний средней температуры деятельного слоя. Последняя получилась вполне правдоподобной.

Наконец построенная вероятная кривая теплового баланса водообмена позволила, хотя и весьма грубо, наметить его приходную и расходную части, составившие соответственно около $+18000$ и $-6000 \text{ м. кал. на см}^2$. В результате была получена возможность сопоставить между собой все главные слагаемые теплового баланса Белого моря и ориентировочно выявить их относительное значение (табл. 2). Последнее еще ярче вы-

* В первой половине октября и в первой половине мая.

является при сопоставлении результатов процессов, геофизически неде-
лимых (табл. 3).

Таблица 2

Годовые суммы и частные годовые балансы тепла всех компо-
нент теплового баланса Белого моря

Поступление тепла			Расход тепла		
	мал. кал/см ²	%		мал. кал/см ²	%
Суммарная солнечная радиация, поглощенная морем	+43 840	63	Эффективное излучение	-35 220	50
—	—	—	Теплота конвекции и испарения	-25 660	37
Поступление тепла в результате водообмена	ок.+18 270	26	Потери тепла в результате водообмена	ок.-6 000	9
Теплота льдообразования	+5 080	7	Теплота льдотаяния	-2 880	4
Приток тепла, вносимого реками	+2 600	4	Охлаждение, вносимое реками	-30	—
Всего поступления	ок.+69 790	100	Всего потерь	ок.-69 790	100

Таблица 3

Положительные балансы			Отрицательные балансы		
	мал. кал/см ²	%		мал. кал/см ²	%
Баланс тепла водообмена	12 270	48	Баланс тепла конвекции и испарения	25 660	100
Баланс радиационных процессов (суммарная поглощенная радиация минус излучение)	8 620	33			
Баланс теплового действия материкового стока	2 570	10			
Баланс процессов льдообразования, выноса и таяния льда	2 200	9			
Всего	25 660	100	Всего	25 660	100

Анализ полученных выводов с гидрологической точки зрения позволил получить из факта значительности отепляющего эффекта водообмена ряд важных следствий: 1) в зависимости от сезона то питающее, то сточное течение Белого моря становится более мощным; 2) общее количество обменивающихся через Горло масс значительно, а следовательно и возобновление вод Белого моря более или менее интенсивно; 3) одной из существенных причин многолетних изменений термического состояния Белого моря должны являться изменения теплового состояния вод юго-западной

части Баренцова моря. Все эти выводы хорошо согласуются с особенностями гидрологического и гидрохимического режима моря.

Несомненно, что уточнение и развитие подсчетов теплового баланса откроет широкие и высокоценные для практических целей возможности как в области методики долгосрочных термических и ледовых прогнозов, так и в области глубокого причинного анализа режима наших морей. Однако в настоящее время эти возможности еще мало реальны в силу недостаточного развития стационарных наблюдений на большинстве морей Союза. В частности на Белом море в первую очередь необходимо: 1) усиление наблюдений всех элементов теплового баланса; 2) проведение регулярных сезонных гидрологических разрезов и съемок и усиление прибрежных наблюдений; 3) постановка наблюдений над водообменом и ледообменом через Горло.

Государственный гидрологический институт.
Ленинград.

Поступило
29 X 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. В. Шулейкин, Труды Таймырской гидрографической экспедиции, изд. ГУ УМС РККА (1935). ² К. М. Дерюгин, Исследования морей СССР, вып. 7—8 (1928). ³ Оболенский, Метеорология.