

А.Н. Постников

ОЦЕНКА НОРМ ИСПАРЕНИЯ ЗА БЕЗЛЕДОСТАВНЫЙ ПЕРИОД С ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ РОССИИ И ОТДЕЛЬНЫХ СТРАН СНГ МЕТОДОМ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА

A.N. Postnikov

ESTIMATE OF EVAPORATION RATES FOR PERIOD WITHOUT ICE FROM LAKES AND RESERVOIRS IN RUSSIA AND SOME CIS COUNTRIES WITH HEAT BALANCE METHOD

Производится оценка норм радиационного баланса поверхности озер и водохранилищ за отдельные месяцы и в целом за безледоставный период. Определяются нормы испарения с поверхности озер и водохранилищ за безледоставный период методом теплового баланса. Предлагается эмпирическая формула для оценки радиационного баланса поверхности водоемов за безледоставный период.

Ключевые слова: радиационный баланс, озера и водохранилища, безледоставный период, испарение, тепловой баланс.

Estimate of radiation balance rates of lakes and reservoirs surface for separate months and for the whole period without ice is made. Evaporation rates from lakes and reservoirs surface for period without ice are determined with heat balance method. Empirical formula for estimate of radiation balance of basin surface for period without ice is offered.

Key words: radiation balance, lakes and reservoirs, period without ice, evaporation, heat balance.

Уравнение теплового баланса водоема за некоторый промежуток времени Δt может быть записано в виде:

$$R = LE + P + \Delta W, \quad (1)$$

где R – радиационный баланс водной поверхности; LE – затраты тепла на испарение; P – турбулентный поток тепла между водной поверхностью и атмосферным воздухом; ΔW – изменение запаса тепловой энергии в водоеме. Все составляющие в данной работе приводятся в кДж/м^2 . Если уравнение записано для всего безледоставного периода (БП) водоема, то с хорошим приближением можно считать [1], что $\Delta W = 0$, т. е. тепловые запасы водных масс водоема примерно одинаковы на начало и конец БП. Поэтому для всего БП уравнение теплового баланса упрощается:

$$R = LE + P. \quad (2)$$

Составим отношение P/LE , называемое отношением Боуэна. При этом для выражения P и LE используют уравнения турбулентного переноса тепла и влаги в атмосфере

$$P = -c_p \rho K_p \frac{dt}{dz}, \quad (3)$$

$$E = -\rho K_E \frac{dq}{dz}, \quad (4)$$

где c_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/кг град; ρ – плотность воздуха, кг/м³; t – температура воздуха, °C; q – удельная влажность воздуха, кг/кг; z – высота над подстилающей поверхностью, м; K_p и K_E – коэффициенты турбулентности для переноса тепла и влаги, м²/с. Если производные выразить через конечные разности, от удельной влажности перейти к парциальному давлению (e) по соотношению $q = 0,62 \cdot 10^{-3} e$ и принять, что $K_p = K_E$, то получим:

$$\frac{P}{LE} = 0,64 \frac{\Delta t}{\Delta e}, \quad (5)$$

где Δt – разность между температурами поверхности воды и воздуха на высоте 2 м; Δe – разность между парциальными давлениями насыщенного водяного пара при температуре водной поверхности и в воздухе на высоте 2 м, гПа. Исключив P из уравнения (2) с помощью (5), получим:

$$E = \frac{4R}{\left(1 + 0,64 \frac{\Delta t}{\Delta e}\right)}, \text{ мм.} \quad (6)$$

По уравнению (6) можно попытаться оценить испарение с водоема в целом за БП конкретного года, а также средние многолетние значения (нормы) испарения с водоемов за безледоставные периоды, так как для средних многолетних условий уравнение (2) также будет справедливым.

Однако для использования уравнения (6) необходимо располагать данными о радиационном балансе водной поверхности, наблюдения за которым на сетевых метеостанциях Гидрометслужбы до настоящего времени не проводятся. Вместе с тем, на актинометрических станциях проводятся измерения, позволяющие определить радиационный баланс суши (R_c). Получив данные о R_c , можно рассчитать значения R для расположенных поблизости водоемов. Изложим методику этого расчета согласно работе [2].

Запишем уравнение радиационного баланса для поверхности суши:

$$R_c = (Q_1 + Q_2)_c (1 - \alpha_c) - I_c + I_a^c \quad (7)$$

и для поверхности воды

$$R = (Q_1 + Q_2)_в (1 - \alpha_в) - I_в + I_a^в, \quad (8)$$

где Q_1 и Q_2 – соответственно, прямая и рассеянная солнечная радиация; α_c и $\alpha_в$ – соответственно, альbedo поверхности суши и альbedo водной поверхности; I_c и

I_B – соответственно, длинноволновое излучение поверхности суши и водной поверхности; I_a^c и I_a^B – встречное длинноволновое излучение атмосферы над сушей и водной поверхностью. Приняв, что суммарная радиация над участком суши $(Q_1 + Q_2)_c$ и над близ расположенным водоемом $(Q_1 + Q_2)_B$ одинаковы по величине, а также одинаковы I_a^c и I_a^B , вычтем уравнение (7) из (8):

$$R = R_c + (Q_1 + Q_2)(\alpha_c - \alpha_B) + (I_c - I_B). \quad (9)$$

В соответствии с законом Стефана-Больцмана

$$I_c = \beta_c \sigma T_c^4, \quad (10)$$

и

$$I_B = \beta_B \sigma T_B^4, \quad (11)$$

где T_c и T_B – температура поверхности почвы на актинометрической станции и температура поверхности воды; $\sigma = 1,47 \cdot 10^{-4}$ кДж/м²·мес·град⁴ – постоянная Стефана-Больцмана; β_c и β_B – излучательные способности суши и воды, которые в рассматриваемой методике полагаются равными единице ($\beta_c = \beta_B = 1$). Таким образом, можно записать:

$$P = P_c + (Q_1 + Q_2)(\alpha_c - \alpha_B) + \sigma(T_c^4 - T_B^4). \quad (12)$$

В настоящей работе по уравнению (12) рассчитывались среднемноголетние значения радиационного баланса водной поверхности за каждый месяц БП данного водоема. Полученные месячные значения R затем суммировались и определялось среднее многолетнее значения (норма) радиационного баланса за БП. Месячные нормы R_c , $(Q_1 + Q_2)$, α_c , T_c брались из [8], норма T_B – из [3], значения α_B заимствованы из таблицы, приведенной в работе [2]. Как известно, температура поверхности почвы измеряется на метеостанциях ртутным термометром, выложенным на поверхность площадки, лишенной травяного покрова. Поэтому естественно ожидать, что в теплый период года эта температура, как правило, будет завышенной по сравнению с температурой поверхностей участков почвы, находящихся в естественном состоянии в непосредственной близости от этой площадки. По этой причине в настоящей работе за температуру поверхности почвы принималась величина

$$T_c = (T_1 + T_2)/2, \quad (13)$$

где T_1 – температура поверхности почвы, измеренная на метеостанции; T_2 – температура воздуха.

Для проведения расчетов выбирались такие озера и водохранилища, поблизости от которых имелись актинометрические станции, проводящие наблюдения за составляющими радиационного баланса поверхности суши. В табл. 1 приводятся результаты расчета радиационного баланса водной поверхности по изложенной выше методике.

Средние многолетние значения радиационного баланса водной поверхности
 за отдельные месяцы и в целом за безледоставный период ($R \cdot 10^{-4}$ кДж/м²)

Водоем, станция	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Озера</i>											
Ладожское, Сортавала		13,8	44,4	53,2	46,5	24,7	10,9	-3,4	-9,2	-13,8	167,2
Ладожское, Новая Ладога		20,5	46,1	51,5	44,0	26,8	11,7	1,7	-8,4	-13,4	176,8
Онежское, Петрозаводск			38,1	47,3	44,0	26,0	9,2	-2,9	-6,7		155,4
Кавголовское, Санкт-Петербург		22,2	30,6	36,4	35,6	21,0	9,2	-1,3	-5,0		148,7
Ильмень, Николаевское		28,5	36,0	39,8	39,0	27,2	11,7	1,7	-2,9		180,1
Чудско-Псковское, Николаевское		28,5	39,0	41,1	39,4	25,6	9,6	-0,4	-4,2		149,6
Белое, Каргополь		18,4	35,6	35,2	37,3	20,5	5,4	-0,8	-8,4		143,3
Лача, Каргополь			33,5	35,6	37,3	20,5	7,1	0,0	-6,3		128,2
Валдайское, Валдай		29,7	39,2	42,7	39,4	26,8	10,1	0,8	-5,9		183,9
Селигер, Валдай		28,9	41,5	40,6	38,1	25,1	8,0	-3,8	-3,8		174,7
Галичское, Кострома		28,5	36,9	39,4	39,4	28,9	11,3	0,0	-8,0		176,4
Чаны, Омск		30,6	40,6	43,2	40,2	30,6	15,9	5,0	-9,6		196,9
Байкал, Байкальское				52,8	53,6	36,0	17,2	-0,4	-16,3	-22,2	121,1
Байкал, Хужир			50,3	57,0	57,4	40,6	20,1	0,8	-16,8	-24,7	185,2
Байкал, Иркутск			46,1	59,5	55,7	37,3	18,9	-0,8	-15,9	-23,9	176,8
Ханка, Сантахеза		37,3	39,0	46,5	46,1	36,9	26,8	13,4	-0,8		245,5
Балхаш, Буран		37,7	52,0	54,5	51,5	42,7	25,1	6,7	-6,7		262,7
Балхаш, Алма-Ата		36,9	49,9	52,8	56,1	46,9	33,1	13,0	0,4		289,1
Алаколь, Буран		39,0	49,4	53,6	53,2	46,1	30,2	12,2	-2,1	-13,0	269,0
Алаколь, Алма-Ата		42,3	54,1	56,1	59,1	48,6	33,1	12,6	1,3	-5,0	300,0
Иссык-Куль, Алма-Ата	18,0	32,7	50,7	57,4	62,0	50,3	31,4	8,8	-5,9	-11,3	288,3
Севан, Тбилиси	29,7	35,2	48,6	57,8	58,2	46,5	32,7	13,0	2,5	-2,9	332,3
<i>Водохранилища</i>											
Иваньковское, Торжок		23,0	33,9	37,3	36,9	23,9	10,1	0,4	-5,0		160,0
Рыбинское, Мыс Рожновский		23,0	41,1	41,5	42,3	27,2	11,7	-0,4	-6,7		179,8
Горьковское, Кострома		25,1	40,2	42,9	38,5	26,4	6,7	-2,1	-8,0		170,0
Горьковское, Нижний Новгород		25,6	44,4	45,3	40,2	26,0	10,5	-1,7	-8,0		182,7
Куйбышевское, Самара		30,2	48,2	50,7	46,9	35,6	16,8	3,8	-8,4		224,6

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Саратовское, Саратов		35,2	52,0	52,4	46,5	35,6	15,9	1,7	-6,7		232,5
Волгоградское, Волгоград		37,7	56,1	56,1	54,1	43,6	22,6	5,4	-2,5	-6,3	267,3
Цимлянское, Цимлянск	12,6	28,9	45,2	49,0	45,3	39,8	21,8	6,7	-2,5		247,2
Киевское, Киев		26,0	36,5	42,3	42,3	31,0	18,0	6,3	0,0	-5,0	202,0
Кременчугское, Знаменка		26,8	36,5	42,3	44,4	34,4	17,6	5,9	-2,9	-5,0	203,2
Днепродзержин- ское, Знаменка		27,7	37,7	43,6	45,7	34,8	20,1	6,3	-2,9	-5,9	207,4
Каховское, Знаменка	12,6	28,1	39,4	42,3	43,6	33,5	18,0	3,8	-5,9	-7,5	208,2
Каховское, Ботево	15,9	33,1	45,7	49,0	51,1	41,1	24,7	8,0	-2,9	-4,2	261,9
Братское, Тулун			44,0	50,2	42,7	28,1	10,9	-4,6	-15,9		155,4
Братское, Киренск			40,2	47,8	42,3	24,7	7,1	-5,0	-18,0		139,1
Красноярское, Хакасская			49,9	52,4	48,6	32,7	13,8	-5,0	-15,5		168,4
Павловское, Кушнаренково			44,8	52,4	45,7	30,6	13,0	-1,3	-7,5		177,7

Далее определялись величины $K_B = \frac{1}{\left(1 + 0,64 \frac{\Delta t}{\Delta e}\right)}$, при вычислении значе-

ний которых сначала, по данным наблюдений ближайшей к водоему метеостанции [8], определялись средние за каждый месяц величины Δt и Δe , по которым находились их средние значения за весь БП и затем определялась величина K_B . Значения K_B приводятся в табл. 2.

Для определения среднемноголетней продолжительности БП для конкретного водоема из кадастровых изданий [3] выписывались средние даты очищения ото льда и даты установления ледостава, которые округлялись соответственно до первого, десятого и двадцатого дня месяца.

С учетом такого округления дат начинался и заканчивался подсчет нормы радиационного баланса за БП на конкретном водоеме. Поясним сказанное на примере. Пусть по кадастровому изданию на водоеме дата очищения ото льда 23 апреля, а дата установления ледостава 17 ноября. С округлением эти даты соответственно превратятся в 20 апреля и 20 ноября. Поэтому при подсчете радиационного баланса за БП из табл. 1 учитывались 1/3 радиационного баланса за апрель и 2/3 радиационного баланса за ноябрь. Для больших водных объектов, в тех случаях, когда это было возможно, радиационный баланс водной поверхности определялся по данным нескольких актинометрических станций как среднее арифметическое. Эти станции указаны в табл. 2 после названия водного объекта.

**Оценки норм испарения за безледоставный период
по различным источникам и по уравнению (6)**

Водоем, станция	БП	K_B	$R \cdot 10^{-4}$	E	E_1	E_2	E_3	E_{Π}	ОП, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Озера									
Ладожское, Сортава- ла, Новая Ладога	1,05-31,12	0,75	154,8	464	344	378	429	429	+8
Онежское, Петрозаводск	1,05-30,11	0,75	146,2	439	335	392	-	392	+12
Кавголовское, С.-Петербург	15,04-15,11	0,76	140,1	426	-	-	-	447	-5
Ильмень, Николаевское	15,04-20,11	0,81	167,7	541	420	590	-	590	-9
Чудско-Псковское, Николаевское	13,04-20,11	0,80	161,0	496	560	520	-	520	0
Валдайское, Валдай	1,05-30,11	0,75	154,2	463	-	-	-	493	-6
Белое, Каргополь	1,05-15,11	0,83	129,1	429	420	-	-	420	+2
Лача, Каргополь	1,05-15,11	0,83	131,4	436	401	-	-	401	+9
Селигер, Валдай	1,05-20,11	0,77	147,1	453	-	-	-	505	-10
Галичское, Галич	1,05-1,11	0,76	155,9	474	-	-	-	509	-7
Чаны, Омск	1,05-1,11	0,80	162,4	520	491	-	-	491	-4
Байкал, Байкальское, Хужир, Иркутск	15,05-31,12	0,68	145,0	394	372	422	406	406	-3
Ханка, Сантахеза	15,04-30,11	0,80	226,8	726	584	624	620	624	+17
Балхаш, Буран, Алма-Ата	1,04-30,11	0,91	275,9	1004	1020	-	1020	1020	-2
Алаколь, Буран, Алма-Ата	1,04-15,12	0,95	289,0	1098	1194	1152	-	1152	-5
Иссык-Куль, Алма-Ата	1,01-31,12	0,78	288,3	899	-	850	850	850	+6
Севан, Тбилиси	1,01-31,12	0,71	332,3	944	870	846	-	870	+8
Водохранилища									
Иваньковское, Торжок	10,04-20,11	0,80	152,4	488	522	-	513	513	-5
Рыбинское, Мыс Рожновский	15,04-15,11	0,79	171,1	540	519	418	418	519	+4
Горьковское, Кострома, Нижний Новгород	15,04-20,11	0,80	170	544	611	597	591	591	-8
Куйбышевское, Нижний Новгород, Самара	15,04-20,11	0,81	198,0	641	646	580	618	646	-1
Саратовское, Самара, Саратов	15,04-30,11	0,83	212,2	705	668	650	656	668	+6
Волгоградское, Саратов, Волгоград	15,04-15,12	0,88	230,0	809	732	743	753	753	+7
Цимлянское, Цимлянск	20,03-30,11	0,90	243,0	875	1020	-	860	860	+2
Киевское, Киев	1,04-15,12	0,80	204,5	654	696	-	644	644	+2

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кременчугское, Знаменка	1,04-20,12	081	206,5	669	787	670	671	670	0
Днепродзержинское, Знаменка	1,04-20,12	0,81	211,3	685	730	-	656	656	+4
Каховское, Знамен- ка, Ботево	20,03-31,12	0,89	230,3	820	824	810	796	824	0
Братское, Тулун, Киренск	20,05-30,11	0,79	119,2	377	384	391	411	384	-2
Красноярское, Хакасская	10,05-1,12	0,79	151,8	480	515	730	765	515	-7
Павловское, Кушнаренково	20,04-31,12	0,83	151,6	503	504	-	-	504	0
Мингечаурское, Тбилиси	1,01-31,12	0,93	246,0	915	1060	-	1100	1060	-14

Примечания: R – радиационный баланс водной поверхности за БП, кДж/м²; E – испарение, рассчитанное по уравнению (6); E_1, E_2, E_3 – испарение за БП, значения которого заимствованы соответственно из источников [1, 3, 6]; E_n – принятое испарение; ОП – относительная погрешность оценки испарения по уравнению (6), равная $100 \cdot (E - E_n)/E_n$. Значения испарения приведены в мм.

В табл. 2 приведены результаты расчета радиационного баланса поверхности водоемов и значения испарения, определенные по формуле (6). Здесь же приводятся средние многолетние значения испарения с данных водоемов, заимствованные из источников, указанных в примечании к таблице. Рассчитанные значения испарения (E) сравнивались с так называемым «принятым испарением» (E_n), за которое принималось то значение из E_1, E_2, E_3 , которое было наиболее близким к значению E . Такое решение было принято, исходя из тех соображений, что если значения испарения, полученные независимыми друг от друга способами, оказываются близкими, то у этих двух значений больше шансов оказаться ближе к истинному значению, чем у остальных. Читатель, не согласный с таким подходом, имеет возможность по-своему оценить результаты расчета E , исходя из значений E_1, E_2, E_3 . Для озер Кавголовское, Валдайское, Селигер и Галичское в качестве принятых значений испарения были использованы значения испарения, определенные по формуле [4]

$$E = 83t_n, \quad (14)$$

где E – норма испарения с водной поверхности за БП, мм; $t_n = \sum t_i/12$, здесь t_i – норма испарения за i -й месяц теплого периода года. Месяц относился к теплomu периоду, если t_i была положительной величиной. В табл. 2 приведены погрешности расчета E относительно величин E_n в процентах с указанием знака. Знак «+» указывает на то, что значение E больше значения E_n , а знак «-», что значение E меньше значения E_n . В общей сложности сравнение результатов было проведено по 32 водным объектам, при этом оказалось, что в четырех случаях результаты практически совпадали, в тринадцати были завышены и в пятнадцати – занижены. Анализ результатов расчета показал также, что в 53 % случаев относительная погрешность по абсолютной величине не превосходит 5 %, а в 91 %

случаев не превосходит 10 %, средняя по абсолютной величине относительная погрешность составляет 6 %, коэффициент корреляции между E и E_n равен 0,97. Таким образом, результаты следует признать весьма удовлетворительными, а метод теплового баланса в изложенном выше виде пригодным для оценки норм испарения с водоемов в целом за безледоставный период.

Здесь хотелось бы высказать свое мнение относительно опубликованных величин E_1 , E_2 и E_3 , которые принимались в данной работе за эталонные. Как правило, эти величины рассчитывались по формуле ГГИ, в которую входит U_2 – скорость ветра над водоемом на высоте 2 м. На метеостанциях скорость ветра измеряется по флюгеру (U_ϕ). Пересчет этой скорости в скорость ветра над водоемом на высоте 2 м производится по формуле [9]

$$U_2 = K_1 K_2 K_3 U_\phi, \quad (15)$$

где K_1 , K_2 , K_3 – коэффициенты, соответственно учитывающие степень защищенности метеостанции, характер рельефа в месте ее расположения, среднюю длину разгона воздушной массы над водоемом. Для определения этих коэффициентов в [9] приводится таблица, после ознакомления с которой, во-первых, становится понятно, что при производстве расчетов необходимо иметь подробное описание местности, в которой расположена метеостанция (но всегда ли оно имеется?), и, во-вторых, закрадывается подозрение, что при выборе значения K_1 легко допустить ошибку, например, вместо $K_1 = 1,1$ выбрать $K_1 = 1,3$. Посмотрим, к чему может привести такая, на первый взгляд, безобидная погрешность. В табл. 3 представлены результаты расчета с Волгоградского водохранилища в районе г. Волгограда за 7 БП при разных значениях K_1 , значения всех остальных переменных, входящих в формулу ГГИ, в обоих случаях были одинаковы.

Таблица 3

Испарение за БП (мм) с Волгоградского водохранилища в районе г. Волгограда

Годы	1961	1962	1963	1967	1968	1969	1970	Среднее
$K_1 = 1,1$	876	810	826	864	871	850	922	860
$K_2 = 1,3$	1000	924	946	986	995	969	1058	983

Мы видим, что незначительная погрешность в выборе K_1 (перепутали соседние значения коэффициента!) может привести к погрешности во многие десятки миллиметров в определении испарения не только за отдельные безледоставные периоды, но и в определении его среднего многолетнего значения. Отсюда напрашивается вывод, что средние многолетние значения испарения с водоемов за БП, определенные по формуле ГГИ, следует воспринимать с осторожностью, как величины до некоторой степени условные.

Метод теплового баланса в том виде, в каком он реализован в настоящей работе, может служить для определения (уточнения) норм испарения с водоемов за безледоставный период в целом. Однако его применение требует данных наблюдений на актинометрических станциях, число которых на территории России сравнительно невелико, в связи с чем метод может быть применен далеко не для всех водоемов. Поэтому желательна разработка методики расчета радиационного баланса водной поверхности по данным о метеовеличинах, за ко-

торыми ведутся наблюдения на сетевых метеостанциях. В работе автора [4] было установлено, что годовые средние многолетние значения радиационного баланса увлажненной поверхности суши равнинных территорий достаточно тесно связаны с температурной характеристикой теплого периода t_n , о которой говорилось выше. В данной работе сделана попытка рассчитанные нормы радиационного баланса водной поверхности за БП, исключая горные водоемы и водоемы Казахстана, также связать с соответствующими значениями t_n . Оказалось, что эта связь довольно тесная (коэффициент корреляции равен 0,93) и может быть описана уравнением:

$$R' \cdot 10^{-4} = 21,3t_n + 27 \text{ кДж/м}^2\text{БП.} \quad (16)$$

Средняя относительная погрешность расчета R' по зависимым исходным данным, т.е. по тем, по которым было построено уравнение, составляет 6 %. Имея значение R' для данного водоема, нужно определить K_B , пользуясь данными наблюдений ближайшей метеостанции, и затем оценить норму испарения с водоема за БП по уравнению (6).

Используя формулу (16) и значения K_B из табл. 3, мы провели расчет норм испарения за БП для равнинных водоемов (исключая водоемы засушливых зон, т.е. водоемы Казахстана), указанных в табл. 1 и 2, и сравнили их с величинами E_n для данных водоемов. Оказалось, что коэффициент корреляции между ними составляет 0,96, а средняя относительная погрешность равна 6 %.

Подводя итоги, по-видимому, можно сказать, что метод теплового баланса при наличии необходимых данных на сетевых актинометрических станциях может быть использован для оценок норм испарения за БП с водоемов как на равнинной, так и в горной местности. Формула (14) может быть использована для оценок норм испарения за БП с водоемов, расположенных на равнинах (исключая водоемы засушливых зон). Формула (16) может быть использована при отсутствии необходимых актинометрических данных для приближенных оценок радиационного баланса водной поверхности за БП равнинных водоемов (исключая водоемы засушливых зон) и последующей оценки норм испарения за БП с этих водоемов. Автору представляется, что перечисленные предложения могут увеличить набор способов определения норм испарения с водоемов за БП и будут способствовать повышению точности их определения.

Литература

1. Викулина З.А. Водный баланс озер и водохранилищ Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1979.
2. Кириллова Т.В. Радиационный режим озер и водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1970.
3. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1985.
4. Постников А.Н. Формулы для расчета среднего годового испарения с поверхности суши и радиационный баланс водной поверхности // Проблемы современной гидрологии / Сб. науч. трудов гидрологич. фак-та, 2004, с. 143-153.
5. Постников А.Н. Приближенный метод оценки испарения с озер и водохранилищ // Уч. зап. РГГМУ, 2010, № 13, с. 21-29.
6. Рекомендации по расчетам водного баланса крупных озер и водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.
7. Справочник по климату. – Л.: Гидрометеиздат, 1963-1969.
8. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. – Л.: Гидрометеиздат, 1969.