

26
7-78
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Труды, выпуск 14

ОБЛАКА, ОСАДКИ И ВОПРОСЫ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

175263
БИБЛИОТЕКА
ЛЕНИНГРАДСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА

ЛЕНИНГРАД
1963

Б. М. ГАЛЬПЕРИН

СРАВНЕНИЕ И ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ РАСЧЕТА СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ
ПО ДАННЫМ ОБ ОБЛАЧНОСТИ

В последние годы предложен ряд новых методов приближенных климатологических расчетов прихода суммарной солнечной радиации по данным о средней месячной облачности.

Так, Т.Г.Берлянд [3] получена нелинейная зависимость месячных сумм радиации от общей облачности

$$Q = Q_0 [1 - (\alpha + 0,38n)n],$$

где Q - действительные суммы радиации, Q_0 - возможные суммы, n - средняя месячная общая облачность, α - коэффициент, меняющийся с широтой.

Е.П.Барашковой [2] также найдена нелинейная связь сумм радиации с общей облачностью

$$Q = \alpha h^{0,94} t,$$

где h - высота солнца в истинный полдень на 15-е число месяца, t - продолжительность дня в часах на эту дату, α - численный эмпирический коэффициент, нелинейно зависящий от общей облачности; в работе даны значения его для случаев отсутствия и наличия снежного покрова.

В.С.Самойленко [9] предложил для уточнения климатологических расчетов, сохранив линейный характер зависимости сумм радиации от облачности, использовать данные не только по общей (n), но и по нижней облачности (ℓ):

$$Q = Q_0 [1 - 0,76\ell - 0,37(n - \ell)].$$

"Коэффициенты ослабления" суммарной солнечной радиации облаками нижнего яруса (0,76) и верхнего + среднего ярусов (0,37) получены В.С.Самойленко по эмпирическим данным Б.Гаурвица [10] о соотношении между интенсивностью суммарной радиации при облачности 10 баллов разных форм и радиацией при безоблачном небе - $\frac{Q_{10}}{Q_0}$. Возможные суммы прямой солнечной радиации

В.С.Самойленко рекомендует находить для разных коэффициентов прозрачности по таблице Миланковича, а для учета сумм рассеян-

ной солнечной радиации при безоблачном небе им предложен способ, также требующий сведений о коэффициенте прозрачности и, кроме того, об общем содержании водяного пара в вертикальном столбе атмосферы.

За последние годы рядом авторов опубликованы и новые данные о среднем широтном распределении возможных сумм суммарной солнечной радиации. Так, Т.Г.Берлянд, используя значительно расширившиеся материалы наблюдений, уточнила величины возможных сумм, полученные ею ранее [4], особенно для высоких широт. Как и в более ранних работах, при этом применялся метод Украинцева, согласно которому возможные суточные суммы определяются из графика годового хода действительных суточных сумм радиации по кривой, проходящей через верхние эмпирические точки.

З.И.Пивоварова [8] получила значения возможных сумм солнечной радиации для 40-68° с.ш. путем построения графиков суточного хода суммарной радиации при безоблачном небе (методом трапеций) на 15-е число каждого месяца. Для построения таких графиков ею были использованы осредненные данные срочных сетевых измерений интенсивности прямой и рассеянной солнечной радиации в разных пунктах СССР.

М.С.Аверкиев [1] опубликовал значения возможных сумм прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации для широт 40, 50, 60 и 70° при разных коэффициентах прозрачности (ρ_2), полученные им на основании эмпирических зависимостей между интенсивностью прямой и рассеянной солнечной радиации и высотой солнца при различных значениях коэффициента прозрачности.

Б.М.Гальперин [6] также дано среднее распределение возможных сумм суммарной солнечной радиации для 40-90° с.ш. Для умеренных широт значения возможных сумм получены ею по данным регистрации прямой и рассеянной солнечной радиации в безоблачные дни на 12 станциях СССР, а для арктических широт - путем графического интегрирования кривых суточного хода суммарной радиации при безоблачном небе, построенных на 15-е число каждого месяца. Зависимость интенсивности суммарной солнечной радиации от высоты солнца для разных месяцев была найдена по данным срочных измерений на полярных и в отдельности на дрейфующих станциях.

Поскольку область практического применения методов расчета прихода солнечной радиации непрерывно расширяется, представляло интерес произвести сопоставление новых предложенных методов и таблиц возможных сумм и сравнить их с широко используемой в СССР методикой ГГО, разработанной в 1954 г. [4].

1. В табл.1 приведены возможные месячные суммы суммарной солнечной радиации Q_0 , ккал/см²мес. на 40-90° с.ш., полученные разными авторами: Т.Г.Берлянд - варианты 1954 г. (1) и 1960 г. (2), З.И.Пивоваровой (3), М.С.Аверкиевым (4) и Б.М.Гальперин (5). По 1-му варианту Т.Г.Берлянд возможные суммы в высоких широтах были, за недостатком данных в то время, сильно занижены, поэто-

му они не приведены.

Возможные суммы по таблицам М.С.Аверкиева определены нами на основании данных о годовом ходе коэффициента прозрачности атмосферы при $m = 2 (p_2)$ на равных широтах, полученных З.И.Пивоваровой [8] по сетевым наблюдениям актинометром.

Для широт 70 и 80° возможные суммы, по Б.М.Гальперин, приведены для суши и океана, а для 90° - только для океана.

Таблица 1

φ град.	Методы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
40	1	8,8	11,7	17,3	20,3	23,2	23,9	23,5	21,4	17,9	13,6	9,8	7,8
	2	9,0	11,4	16,7	20,1	23,6	23,7	23,9	21,3	16,8	13,4	9,5	8,1
	3	7,4	9,6	14,8	17,7	20,8	20,8	20,6	18,7	15,0	11,7	8,2	6,7
	4	8,0	9,9	15,0	18,0	21,3	21,7	21,2	19,3	15,6	12,3	8,5	7,1
	5	8,0	10,0	14,6	17,8	21,7	22,2	22,2	20,0	15,7	12,2	8,5	7,0
50	1	4,8	7,6	13,7	18,1	22,4	23,3	22,8	19,1	14,4	9,7	5,9	3,9
	2	4,9	7,6	13,6	18,2	22,6	23,4	23,0	19,5	14,1	9,8	5,8	4,0
	3	4,3	6,8	12,6	16,0	20,1	20,7	20,4	16,9	12,9	8,6	5,0	3,4
	4	4,2	6,6	12,1	16,0	20,5	21,3	21,1	17,8	13,3	9,9	5,0	3,5
	5	4,5	7,0	12,4	16,7	20,9	21,8	21,4	18,8	13,7	9,4	5,3	3,8
60	1	1,7	4,0	9,7	15,6	21,1	22,6	21,9	16,6	10,7	6,2	2,6	1,2
	2	1,8	4,1	10,1	15,8	21,2	22,6	22,0	17,0	11,1	6,2	2,6	1,1
	3	1,3	3,8	9,3	14,3	19,4	21,0	20,1	15,4	10,5	5,0	1,8	1,0
	4	1,4	3,5	8,6	14,2	19,5	20,9	20,5	16,1	10,6	5,8	2,1	0,8
	5	1,3	3,9	9,2	14,9	20,1	21,4	20,8	16,7	10,7	6,0	2,3	0,8
70	1	0,2	1,4	5,9	12,9	19,7	21,7	20,6	13,9	7,1	3,0	0,7	0,1
	2		1,4	6,1	12,9	20,9	23,2	21,7	14,9	7,5	2,8	0,5	
	4		1,0	5,1	11,5	18,9	21,2	20,3	14,6	7,6	2,6		
	5 ^(су-ша)		1,1	5,5	12,3	19,5	21,6	20,2	14,3	7,4	2,7	0,2	
	5 ^(оке-ан)		1,1	5,5	12,3	21,1	24,6	22,4	15,9	8,2	2,7	0,2	
80	2			2,1	10,6	21,9	24,8	23,3	13,6	4,2	0,5		
	5 ^(су-ша)			2,2	10,9	19,2	22,4	21,2	13,1	4,3	0,4		
	5 ^(оке-ан)			2,2	10,9	20,9	25,4	23,2	14,6	4,7	0,4		
90	2				9,9	22,4	26,0	24,2	13,1	2,3			
	5 ^(оке-ан)				9,2	21,3	25,7	23,6	14,5	2,3			

Из табл.1 можно видеть, что величины, полученные тремя последними способами, близки между собой, но по данным Пивоваровой они несколько ниже, чем по данным Аверкиева и особенно Гальперин; нам более заметно различие летом на малых широтах. Очевидно, это связано с использованием "способа трапеций" при построении кривых суточного хода. Возможные суммы по обоим вариантам Т.Г.Берлянд на 40, 50 и 60° с.ш. мало различаются и превышают значения, найденные другими авторами, особенно для малых широт. Это, по-видимому,

обусловлено применением метода В.Н.Украинцева, при котором получают "максимальные" суммы радиации, а не "средние при безоблачном небе".

Близость величин, полученных тремя независимыми методами, позволяет предполагать, что они наиболее правильно отражают реальные условия в умеренных широтах.

На широте 70° расхождение между данными разных авторов уменьшается. На 80 и 90 -й параллелях возможные суммы, приведенные Б.М.Гальперин и Т.Г.Берлянд, также мало отличаются, но по Т.Г.Берлянд получается несколько более резко выраженное возрастание возможных сумм радиации по направлению к полюсу в арктических широтах в период с мая по август. Вероятно, это обусловлено тем, что Т.Г.Берлянд не разделяет данных наблюдений над океаном и на полярных и островных станциях. Между тем, с мая по сентябрь вследствие различия в состоянии подстилающей поверхности радиация над океаном больше [6].

Мы не произвели расчета возможных сумм по способу В.С.Самойленко не только по тем соображениям, что он очень трудоемкий, но главным образом потому, что, как известно, таблицы Милановича дают при малых высотах солнца заниженные суммы прямой солнечной радиации, определение же сумм рассеянной радиации требует еще сведений о содержании водяного пара на разных широтах.

Нам представляется, что при климатологических расчетах, т.е. при определении среднего многолетнего прихода суммарной солнечной радиации, вообще не существенно учитывать изменение прозрачности атмосферы в пространстве на данной широте. Как показало определение возможных сумм по регистрации в безоблачные дни, различие средних величин Q_0 в пунктах, расположенных на близких широтах, но в разных климатических условиях, невелико - гораздо меньше, чем колебания в одном и том же пункте в разные годы или в один и тот же год.

2. Для оценки точности новых расчетных методов, предложенных для определения действительных средних месячных сумм солнечной радиации, были использованы данные о среднем многолетнем приходе суммарной солнечной радиации и средней месячной облачности за те же годы в 10 пунктах СССР: Ташкенте, Тбилиси, Владивостоке, Алма-Ате, Карадаге, Иркутске, Риге, Свердловске, Павловске и Якутске.

В табл.2 приведены средние относительные отклонения вычисленных месячных сумм радиации от зарегистрированных в отдельности по полугодиям без учета знака, а также полугодовых и годовых сумм с учетом знака по четырем методам: Т.Г.Берлянд - варианты 1954 (1) и 1960 гг. (2), В.С.Самойленко (3) и Е.П.Барашковой (4).

При расчетах по формулам Т.Г.Берлянд использовались и соответствующие каждому из вариантов значения возможных сумм на разных широтах.

Таблица 2
Средняя относительная погрешность рассчитанных
величин (в %)

№ п/п	Станции	Метод	Погрешность				
			месячных сумм в среднем за:		за полу- годия:		за год
			1У-1Х	Х-Ш	1У-1Х	Х-Ш	
1	Ташкент	1	6,3	6,0	3,3	4,4	3,6
		2	6,1	9,0	5,7	5,5	5,6
		3	1,8	4,7	0,7	3,6	1,5
		4	4,7	7,0	3,3	-3,1	0,3
2	Тбилиси	1	8,7	3,7	-8,0	-1,4	-6,2
		2	12,0	7,1	-3,1	-1,7	-1,3
		3	12,0	8,2	-12,5	-8,7	-11,4
		4	5,5	10,0	2,8	-2,3	1,3
3	Владивосток	1	7,1	5,9	-2,7	-10,8	-6,0
		2	9,2	5,1	-9,6	-0,9	-5,3
		3	12,7	7,7	-9,3	-3,6	-3,0
		4	6,8	8,8	-4,3	-5,1	-4,6
4	Алма-Ата	1	6,7	6,7	-4,4	-7,1	-5,2
		2	6,0	6,8	0,8	-3,1	-0,4
		3	6,0	6,8	-2,5	-5,3	-3,3
		4	3,8	7,0	4,0	1,0	3,1
5	Карадаг	1	6,8	4,8	-6,8	-6,2	-6,7
		2	4,3	7,2	-1,4	-7,2	-2,0
		3	7,8	14,3	-7,5	-11,1	-8,5
		4	8,3	16,5	-1,1	-17,0	-5,1
6	Иркутск	1	12,7	7,3	-13,1	-0,7	-9,9
		2	13,5	7,7	-14,4	-2,2	-11,2
		3	10,8	7,7	-11,1	0,0	-8,3
		4	8,8	16,5	-7,4	2,2	-4,6
7	Рига	1	4,3	33,0	-4,8	15,5	-1,1
		2	6,5	16,0	-5,9	8,1	-3,3
		3	7,3	6,7	-6,8	-3,4	-6,3
		4	4,3	50,0	-2,3	14,2	0,7
8	Свердловск	1	13,2	13,2	-13,0	-14,7	-13,4
		2	19,8	19,8	-18,9	-21,0	-19,4
		3	16,8	19,8	-16,8	-20,1	-17,5
		4	9,0	7,8	-8,7	-10,3	-9,1
9	Павловск	1	6,5	19,2	-6,3	5,7	-4,5
		2	5,0	10,8	-5,1	-0,8	-4,5
		3	9,5	18,3	-9,9	-14,6	-10,6
		4	7,3	33,8	-0,4	16,3	2,1
10	Якутск	1	13,7	19,3	-13,7	-3,7	-11,8
		2	11,7	16,5	-12,0	-13,1	-12,2
		3	12,7	16,0	-12,8	-14,9	-13,2
		4	11,2	26,0	-11,1	-11,2	-11,2

При вычислениях по методу В.С.Самойленко были взяты возможные суммы, найденные нами [6] для каждого пункта по данным регистрации в безоблачные дни. Это было сделано вследствие указанных выше трудностей и неточности в определении возможных сумм по данной методике, особенно для холодного полугодия. Таким образом, погрешность

вычисленных сумм в этом случае может быть связана лишь с соответствующей ошибкой в определении отношения действительных сумм к возможным по облачности.

Произведенные расчеты показывают, что наилучшие результаты для теплого полугодия дает формула Е.П.Барашковой: в 7 пунктах из 10 средняя относительная ошибка месячных сумм и сумма за все полугодие меньше, чем по другим методам. Наоборот, в холодное полугодие погрешность вычисления месячных сумм по этой формуле максимальна и только вследствие того, что в отдельные месяцы каждого полугодия ошибка меняет свой знак, погрешность суммы за все это полугодие в целом по формуле Е.П.Барашковой меньше отличается от погрешности других методов.

Поскольку основной вклад в годовую сумму вносит теплое полугодие, ошибка годовых сумм по этой методике является для 8 из 10 станций минимальной. Возможно, что в какой-то мере хорошие результаты метода Е.П.Барашковой за теплое полугодие обусловлены тем, что формула получена по данным 6 из рассмотренных пунктов (Якутск, Свердловск, Иркутск, Карадаг, Владивосток, Тбилиси), но она дает малые ошибки и для других станций. Наибольшие погрешности расчета в месяцы холодного полугодия по формуле Е.П.Барашковой получаются для Павловска и Риги, где облачность в это время года больше, чем в других пунктах. Очевидно, коэффициенты α для значительной облачности, полученные по данным прихода солнечной радиации на станциях, где зимой меньше пасмурных по нижней облачности дней, чем на западе, являются для западных районов несколько завышенными. Полученные результаты показывают, что формула Е.П.Барашковой в общем правильно отражает зависимость действительных сумм радиации от астрономических факторов и от количества облаков, но желательно было бы уточнение коэффициента α в холодное полугодие для разных климатических условий.

Чаще всего наибольшие средние погрешности месячных сумм за теплое полугодие и за все это полугодие и год в целом дает метод В.С.Самойленко. В холодное полугодие он в этом отношении не отличается от методики ГГО.

Как видно из данных табл.2, для рассматриваемых станций СССР не обнаруживается существенного преимущества в применении новой формулы Т.Г.Берлянд по сравнению со старой, и обе эти формулы по своим результатам занимают промежуточное положение. Наибольшие ошибки за месяцы теплого полугодия они дают в Свердловске, Иркутске, Якутске, т.е. там, где нижняя облачность и повторяемость пасмурных по нижней облачности дней меньше. Вероятно, это обусловлено тем, что при получении коэффициентов K и α обеих формул Т.Г.Берлянд для умеренных широт северного полушария использовала в значительной мере данные станций Европы и США.

Известно, что вследствие изменения характера облачности в пространстве и в годовом ходе, а также в связи с изменением альбеда

поверхности при установлении и сходе снежного покрова коэффициенты, связывающие отношение действительных сумм к возможным $\left(\frac{Q}{Q_0}\right)$ с общей облачностью, на одной и той же широте могут меняться и испытывать годовой ход. Это показано, например, для коэффициента K формулы Савинова-Онгстрема (методика ГГО 1954г) по материалам советских станций, расположенных в умеренных широтах, - Е.П.Барашковой [2] и по арктическим станциям - М.К.Гавриловой [5]. Поскольку методика ГГО разрабатывалась для построения мировых карт суммарной радиации, учесть эти факторы и детализировать ее по районам представляло бы значительные трудности, так как данных по радиации для этого недостаточно.

Можно было ожидать, что методика ГГО даст большие погрешности, чем формула В.С.Самойленко, по которой оценивается и нижняя облачность. Худшие результаты, полученные при применении формулы В.С.Самойленко, связаны с тем, что величины $\frac{Q}{Q_0}$, рассчитанные по ней на основании данных об общей и нижней облачности, получаются заниженными по сравнению с тем, что дают результаты регистрации. Как показало проведенное нами сравнение, еще более заниженные величины $\frac{Q}{Q_0}$ получаются при расчетах по общей облачности по формулам Т.Г.Берлянд. Но, так как по этой методике завышены возможные суммы, то в результате погрешность действительных сумм оказывается меньше, чем по формуле В.С.Самойленко.

Как видно из табл.2, все эти 3 формулы дают систематически заниженные величины сумм радиации. Лишь по методу Е.П.Барашковой встречаются ошибки годовых и полугодовых сумм разных знаков. По-видимому, причиной заниженных значений $\frac{Q}{Q_0}$, рассчитанных для станций СССР по формулам Т.Г.Берлянд, является уже упоминавшееся использование значительного числа данных станции Западной Европы и США для вычисления эмпирических коэффициентов K и a этих формул; так, величины K , вычисленные Е.П.Барашковой [2] непосредственно по материалам регистрации солнечной радиации на 8 станциях СССР, больше, чем рекомендуемые для соответствующих широт по таблицам ГГО [3]. Частично, заниженные значения K могут быть обусловлены тем, что при их получении использовались несколько завышенные возможные суммы, однако на ошибке действительных сумм это не должно сказываться.

Занижение величин $\frac{Q}{Q_0}$, получающееся при расчетах по формуле В.С.Самойленко, нам представляется, обусловлено двумя причинами: За "коэффициент пропускания" суммарной солнечной радиации облаками нижнего яруса В.С.Самойленко принимает соотношение радиации при пасмурном и ясном небе, характерное для $St\left(\frac{Q_{ic}}{Q_0} = 0,24\right)$, а в теплое время года на континенте преобладают другие облака нижнего яруса - Cu , Sc , Cb , при которых $\frac{Q_{ic}}{Q_0}$ больше, чем при St . Кроме того, как показали исследования [7], при облаках в виде отдельных масс (Cu , Cb , Sc и Ac) зависимость отношения действительных суточных сумм радиации к возможным $\left(\frac{Q}{Q_0}\right)$ от облачности нелинейна: $\frac{Q}{Q_0}$ с увеличением количества облаков осо-

бенно резко уменьшается при значительной облачности. Естественно, что применение линейной зависимости, да еще для малого значения $\frac{Q_{\text{с}}}{Q_0}$, дает заниженные величины.

Можно полагать, что использование данных не только по общей, но и по нижней облачности должно улучшить результаты приближенных расчетов прихода солнечной радиации, но для этого нужен выбор соответствующих характеру облачности коэффициентов и вида зависимости $\frac{Q_{\text{с}}}{Q_0} = f(n, l)$.

Наибольшее уточнение может получиться для тех случаев, когда велика роль облаков верхнего яруса, особенно при значительной облачности. Облака среднего яруса - As и As - по своему влиянию на приход солнечной радиации мало отличаются от таких облаков нижнего яруса, как Cu и Sc [7], поэтому выделение нижней облачности для месяцев теплого полугодия в большинстве районов даст, вероятно, небольшой эффект.

Для периодов с низкими температурами важен не только учет альбедо снега. При таких температурах, когда водность и вертикальная мощность облаков нижнего и среднего ярусов значительно меньше, чем в теплое полугодие, величины $\frac{Q_{\text{с}}}{Q_0}$ могут значительно отличаться от полученных Б.Гаурвицем и другими авторами для бесснежного периода. Таких данных нет и это требует специального исследования.

Дальнейшее уточнение расчетной методики важно не столько для определения средних многолетних сумм радиации (существующие методы удовлетворительно решают эту задачу), сколько для расчетов за отдельные месяцы и декады конкретных лет. При использовании одной общей облачности это сделать нельзя.

В расчетах принимали участие студентки ЛГМИ Т.Ситникова и Л.Немировская.

Л и т е р а т у р а

1. А в е р к и е в М.С. Суммарная радиация и ее компоненты при безоблачном небе в зависимости от прозрачности атмосферы для широт $40-70^\circ$. Вестник МГУ, сер.геогр., № 4, 1958.
2. Б а р а ш к о в а Е.П. Некоторые закономерности в режиме суммарной радиации. Труды ГГО, вып. 80, 1959.
3. Б е р л я н д Т.Г. Методика климатологических расчетов суммарной радиации. Метеорология и гидрология, № 6, 1960.
4. Б у д ы к о М.И., Б е р л я н д Т.Г., З у б е н о к Л.Н. Методика климатологических расчетов составляющих теплового баланса. Труды ГГО, вып. 48, 1954.

5. Гаврилова М.К. Суммарная радиация в Советской и зарубежной Арктике. Труды ААНИИ, т.217, 1959.
6. Гальперин Б.М. О суммарной и рассеянной радиации в Арктике. Труды ААНИИ, т.229, 1961.
7. Гальперин Б.М. Суточный приход суммарной солнечной радиации при различных облаках. Труды ГГО, вып.125, 1962.
8. Пивоварова З.И. Характеристика радиационного режима при ясной погоде. Труды ГГО, вып. 96, 1959.
9. Самойленко В.С. Формирование температурного режима морей. Гидрометеонадат, 1959.
10. Haurwitz В. Insolation in relation to cloud type. Journal of Meteorology, vol. 5, n. 3, 1948.