

26
778
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, Л. П. СЕРЯКОВА

**ДНЕВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗА
БЕССНЕЖНЫЙ ПЕРИОД ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ОБЛАЧНОСТИ**

Данные о величине радиационного баланса используются в климатологии, гидрологии, океанологии, гидромелиорации и при решении ряда вопросов физики приземного слоя воздуха. В связи с запросами практики рядом авторов [3,4,11] разрабатывалась методика приближенных климатологических расчетов отдельных составляющих радиационного баланса. С помощью такой методики в ГГО построены карты средних месячных сумм радиационного баланса континентов и океанов. Но при исследованиях теплового баланса деятельной поверхности за короткие периоды, когда необходимо оценить радиационный баланс при конкретных условиях погоды, исходя из совокупности наблюдаемых или прогнозируемых метеорологических факторов, методика климатологических расчетов уже неприменима. Особенно важна подобная оценка при решении задач, связанных с трансформацией воздушных масс, при расчетах суточного хода тепло- и влагообмена подстилающей поверхности с атмосферой. Однако до сих пор такие данные отсутствуют. Это обусловлено тем, что измерения радиационного баланса по единой методике на сети станций начаты сравнительно недавно и лишь за последние годы появились работы, обобщающие эти наблюдения, но носящие в основном климатологический характер [9,10].

В настоящей работе была поставлена задача получить количественные характеристики дневных величин радиационного баланса поверхности суши за бесснежный период при различных метеорологических условиях. Ночные величины радиационного баланса невелики и для приближенной их оценки можно пользоваться и расчетными методами.

С этой целью были использованы материалы срочных дневных измерений радиационного баланса и альбедо естественной поверхнос-

ти, покрытой травой, в течение бесснежного периода, а также сопутствующие им метеорологические наблюдения на следующих двух группах станций СССР, находящихся в резко отличающихся климатических условиях:

Европейская территория СССР

- 1) Воейково (1955-1957 гг.);
- 2) Каунас (1957-1959 гг.);
- 3) Минск (1956-1960 гг.);
- 4) Рига (1956-1958, 1960 гг.);
- 5) Тарту (1956-1958, 1960 гг.);

Азиатская территория СССР

- 1) Владивосток (1956-1957 гг.);
- 2) Высокая Дубрава (1956-1957, 1960 гг.);
- 3) Иркутск (1955, 1958-1960 гг.);
- 4) Новосибирск (1957-1960 гг.);
- 5) Омск (1957-1960 гг.);
- 6) Якутск (1956-1960 гг.);

Обработка и анализ материалов для каждой из указанных групп станций проводились отдельно.

Для исследования основных причин изменений радиационного баланса были обработаны также данные срочных измерений суммарной и рассеянной солнечной радиации по первой группе станций, но за более длительный период.

В обработке материалов принимали участие студенты ЛГМИ: Л.Сурыгина, Л.Пушкарева, Х.Уразаева и др.

В результате проведенного анализа оказалось, что при одинаковых высоте солнца и метеорологических условиях нет отчетливо выраженного различия в интенсивности солнечной радиации и радиационного баланса на равных станциях одной группы. Это позволило объединить наблюдения на разных станциях одной группы. Можно лишь отметить, что несколько заниженные величины баланса наблюдаются при облаках нижнего яруса (St , Ns , CB) во Владивостоке.

Дневные величины радиационного баланса подстилающей поверхности определяются большим количеством факторов, влияющих на его отдельные составляющие, среди которых основными являются: высота солнца, количество, форма, высота, вертикальная мощность и водность облаков, интенсивность солнечного сияния, прозрачность атмосферы, альбедо поверхности и разность температур почвы и воздуха (Δt°). Как показала Е.П.Барашкова [1,2], непосредственное влияние изменений температуры поверхности почвы и воздуха в отдельности на величину длинноволнового баланса невелико по сравнению с влиянием их разности.

Для оценки влияния этих факторов на величины радиационного баланса по данным срочных измерений балансомером Янишевского строились графики зависимости радиационного баланса от высоты солнца. По эмпирическим точкам с учетом их кучности проводилась корреля-

ционная кривая $B=f(h_0)$. Такие графики составлялись для нескольких интервалов значений альbedo поверхности почвы для безоблачного неба и при наличии облаков. Поскольку ошибка в определении количества облаков составляет + 1 балл, были взяты следующие градации: 2-3, 4-5, 6-7, 8-9, 10 и 10 баллов при различной интенсивности солнечного сияния ($\phi^2, \phi, \phi^0, \Gamma$). Рассматривались основные формы облаков и их наиболее часто встречающиеся сочетания. Аналогичные графики, только без учета альbedo, были получены для суммарной и рассеянной радиации. Для безоблачного неба они строились за отдельные месяцы, а при наличии облаков - по сезонам.

Следует указать, что не для всех облачных форм и баллов облачности удалось получить зависимости $B=f(h_0)$. Некоторые из облаков вообще редко наблюдаются, как, например Cc , другие же большей частью наблюдаются в сочетании с другими формами. Так, например, Ac , Sc и Cs в "чистом виде" встречаются преимущественно при облачности 10 баллов. Поскольку процессы образования Ac и Sc одинаковы, то для получения характеристики радиационного баланса при "волнистых облаках" и облачности меньше 8-9 баллов наблюдения при Ac и Sc были объединены. Cb также наблюдаются в основном при значительной облачности, причем обычно в сочетании с $Fznb$ или Sc , а при наличии прямой солнечной радиации, чаще с Cu . Для облачности 10 и 10 баллов составлены отдельно графики для случаев, когда Cb преобладают ($Cb, Fznb; Cb, Sc; Cb, Cu$) и Cb не преобладают ($Sc, Cb; Cu, Cb$).

Вследствие разного количества данных точность полученных в работе средних значений радиационного баланса при разной облачности и интенсивности сияния солнца неодинакова и некоторые из них нуждаются в уточнении. В табл.1 эти величины даны в скобках.

Необходимо отметить, что при неизменной высоте солнца и прочих равных условиях интенсивность радиационного баланса может меняться в значительных пределах. Это характерно также для суммарной и особенно для рассеянной солнечной радиации и обусловлено колебаниями вертикальной мощности, микроструктуры облаков, их распределением по небосводу и относительно солнца. В случае преобладания прямой солнечной радиации при $h_0 = 45^\circ$ отклонения крайних величин от средних менее 20%, а при $h_0 = 25^\circ$ составляют 20-35%. При отсутствии солнечного сияния, когда величины баланса малы, абсолютные значения отклонений меньше, но относительные очень велики, приближаясь в отдельных случаях к 100%.

1. В процессе выполнения работы прежде всего исследовалась роль факторов, определяющих расходные составляющие радиационного баланса. Для выяснения того, насколько отчетливо наблюдения по балансомеру позволяют выявить влияние изменений разности температур почва-воздух на дневные величины радиационного баланса, были специально обработаны наблюдения при безоблачном небе, когда колебания в приходе радиации минимальны, а разности темпера-

тур почва-воздух (Δt°) велики.

Все наблюдения были разделены по следующим интервалам значений разности температур почва-воздух:

-5,1 - 0,0° ;	10,1 - 15,0° ;
0,1 - 5,0° ;	15,1 - 20,0° ;
5,1 - 10,0° ;	20,1 - 25,0° и выше .

По данным наблюдений как на БТС, так и на АТС зависимости радиационного баланса от Δt° обнаружить не удалось; при одной и той же высоте солнца, альbedo поверхности и градации Δt° колебания радиационного баланса больше, чем при изменении Δt° от одной градации к другой. Это обстоятельство можно объяснить тем, что, помимо свойств почвы, дневные величины Δt° определяются в основном приходом солнечной радиации, и изменения Δt° , обусловленные изменением высоты солнца при данном альbedo, значительно превосходят колебания, вызванные изменением состояния почвы. Кроме того, величина Δt° определена по измерениям термометром, установленным на обнаженной почве, а наблюдения по балансомеру проводятся над естественной поверхностью, покрытой растительностью, где разность Δt° значительно меньше, особенно при хорошо развитом травостое.

Эти результаты позволили при построении графиков $B=f(h_s)$ не производить разделения их по значениям Δt° : косвенным образом влияние Δt° уже учитывается зависимостью радиационного баланса от высоты солнца.

Для количественной оценки влияния изменений альbedo подстилающей поверхности на ее радиационный баланс, как было уже указано, все графики $B=f(h_s)$ составлялись для разных интервалов значений альbedo, встречающихся в бесснежный период: 11-15, 16-20, 21-25 и 26-30%. Наиболее часто на рассматриваемых станциях наблюдаются величины альbedo 16-20%. Альbedo 11-15% встречается преимущественно весной, когда почва влажная и растительный покров слабо развит; значения $A > 25\%$ наблюдаются очень редко и главным образом при безоблачном небе.

Сравнение средних значений радиационного баланса при разных градациях альbedo, но прочих одинаковых условиях показало, что влияние изменений альbedo от одной градации к другой (на 5%) на величину баланса можно обнаружить лишь при сильном или умеренном сиянии солнца, т.е. при большой роли коротковолновой радиации. В этом случае изменение баланса составляет 7-8%. При отсутствии прямой солнечной радиации, т.е. при небольшом приходе коротковолновой радиации, не удалось выявить закономерных изменений средних величин радиационного баланса с изменением альbedo.

Для косвенной оценки влияния изменения альbedo поверхности на радиационный баланс были вычислены величины эффективного излучения при разной облачности путем сопоставления соответствующих средних значений B и Q при альbedo 18% и соотношения $\frac{B_{18\%}}{Q}$.

При безоблачном или облачном небе, что при значительной роли прямой солнечной радиации это соотношение уменьшается с увеличением высоты солнца, особенно при малых высотах солнца. При $h_0 > 25^\circ$ изменение его уже сравнительно невелико. Используя средние величины α при $h_0 > 25^\circ$, можно оценить влияние изменений альбедо (A) для разных условий, исходя из соотношения $B = Q(1 - A - \alpha_{\text{ср}})$. При сплошном покрове облаков нижнего яруса $E_{\text{эфф}} \approx 0$ и можно считать, что $B \approx Q(1 - A)$. Использование этих соотношений позволило получить следующие результаты.

При любой облачности разных форм, за исключением сплошного покрова облаков нижнего яруса, изменение альбедо на 5% (при $h_0 > 25^\circ$) вызывает изменение радиационного баланса на 7-8%, а при изменении на 10% отклонение величины баланса составляет 16-17%, что согласуется с приведенными выше выводами. При облачности 10/10 Сб, Ns, St, когда эффективное излучение мало, эти изменения несколько меньше и составляют 6-7 и 12-14%.

Влияние изменения альбедо на высоту солнца, при которой радиационный баланс меняет свой знак, не обнаружено.

При безоблачном небе радиационный баланс переходит через нулевое значение при высоте солнца 8-10°. При наличии облаков смена знака радиационного баланса происходит при меньшей высоте солнца, но вследствие сравнительно малого количества данных и небольшой точности измерений при малых высотах солнца не получается простой четкой зависимости между этой высотой солнца и количеством облаков. В связи со сказанным выше в дальнейшем мы приводим средние значения радиационного баланса, наиболее характерные для альбедо 16-20%.

Таким образом, факторы, влияющие на расходную часть радиационного баланса, - равенство температур почва-воздух и альбедо поверхности - на дневные величины радиационного баланса в бесснежный период оказывают небольшое влияние, часто меньшее точности измерений балансосмером.

2. Основными факторами, определяющими приходную часть дневного радиационного баланса, являются высота солнца, облачность, интенсивность сияния солнца и прозрачность атмосферы.

Зависимость дневных величин радиационного баланса от высоты солнца при $h_0 < 50^\circ$ практически линейна. Это обусловлено соответствующей зависимостью суммарной радиации от высоты солнца. При $h_0 > 50^\circ$ возрастание суммарной радиации и радиационного баланса с увеличением высоты солнца замедляется.

Как видно из рис. 1, вследствие годового хода коэффициента прозрачности атмосферы радиационный баланс при безоблачном небе (B_0) испытывает отчетливо выраженные изменения от месяца к месяцу, соответствующие изменениям суммарной солнечной радиации (Q_0). При наличии облаков, даже при открытом диске солнца, не выявляется влияние годового хода коэффициента прозрачности на средние величины радиационного баланса. Не обнаруживается в большинстве случаев и

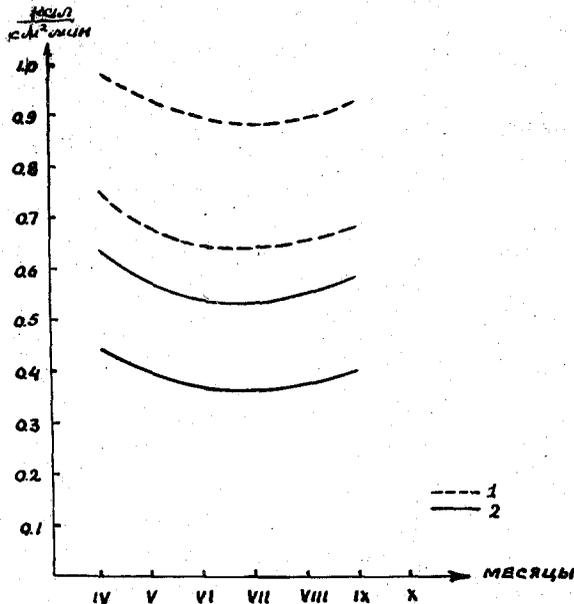


Рис. 1. ГОДОВОЙ ХОД ИНТЕНСИВНОСТИ СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ И РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ПРИ ЯСНОМ НЕБЕ И ВЫСОТЕ СОЛНЦА 30 И 40°.

1 - суммарная солнечная радиация,
2 - радиационный баланс.

влияние изменений свойств облачного покрова в течение бесснежного периода. Лишь при St , Ns и As происходит понижение радиационного баланса от весны к лету, обусловленное соответствующим уменьшением рассеянной радиации вследствие увеличения водности и вертикальной мощности облаков. От лета к осени радиационный баланс мало меняется. При тумане, наоборот, рассеянная радиация и радиационный баланс летом больше, что, вероятно, обусловлено меньшей вертикальной протяженностью ночных радиационных инверсий.

Все указанные выводы были получены для каждой из рассматриваемых групп станций в отдельности. Сравнение средних для каждой из групп станций величин радиационного баланса при равных высотах солнца и прочих одинаковых условиях показало их практическое совпадение. Поэтому в дальнейшем эмпирические графики обеих групп, относящиеся к одинаковым условиям, были объединены. Очевидно, различие в радиационных свойствах облаков одной и той же формы в разных районах умеренных широт СССР в бесснежный период невелико. Этот результат хорошо согласуется с выводами, полученными нами при сопоставлении отношения действитель-

ных суточных сумм солнечной радиации к возможным при различных облаках в Павловске и Свердловске [6] и подтверждается также сравнением интенсивности суммарной и рассеянной солнечной радиации в Павловске и обсерватории Блю-Хилл по данным Н.Н.Калитина [7] и Б.Гаурвица [12].

В табл.1 приведены средние величины радиационного баланса при различных условиях облачности и интенсивности солнечного сияния для разных высот солнца, соответствующие альбедо поверхности 16-20%. Данные этой таблицы позволяют исследовать влияние формы облаков, их количества и интенсивности сияния солнца на дневные величины радиационного баланса.

Сопоставление радиационного баланса при облачности 10 баллов равных форм и отсутствии сияния солнца (рис.2) показывает, что минимальные значения наблюдаются при N_s .

При высотах солнца, больших 20° , радиационный баланс при N_s составляет 20% от среднего за бесснежный период баланса при безоблачном небе.

Наибольший средний радиационный баланс при облачности 10/10 Γ получается при S_c (31% от B_0). Промежуточные и близкие между собой значения радиационного баланса наблюдаются при St и S_b (27 и 26% от B_0). При облаках среднего яруса - 10/0 A_c ср. и A_s ср. радиационный баланс больше, чем при облаках нижнего яруса, и составляет в среднем соответственно 35 и 31% от баланса при отсутствии облаков.

Обработка данных наблюдений по пиранометру показала, что по величине рассеянной радиации все указанные облака располагаются в таком же порядке. Лишь при St рассеянная радиация меньше, чем при S_b . Очевидно, сближение средних величин баланса при St и S_b обусловлено большим излучением атмосферы при более низких, чем S_b , и сопровождающихся температурной инверсией, St .

Как видно из рис.2, при $h_0 < 25^\circ$ радиационный баланс при тумане больше, чем при сплошном облачном покрове нижнего и среднего ярусов, что частично обусловлено повышенной рассеянной радиацией при тумане (лишь при A_c рассеянная радиация больше, чем при тумане). Кроме того, как показывает сопоставление данных по балансу и рассеянной радиации, это должно быть связано и с меньшим эффективным излучением при наличии тумана. При высотах солнца, больших 30° , наблюдений при тумане мало и провести такое же сопоставление нельзя.

При появлении просветов в сплошном облачном покрове A_c , S_c , S_b и их сочетаний (отметка 10 Γ) радиационный баланс возрастает

1/ Заметное отклонение зависимости $B = f(h_0)$ при этих облаках от линейной обусловлено тем, что на рис.2 представлены средние значения за весь бесснежный период, а при больших высотах солнца они преимущественно относятся к лету, когда радиационный баланс минимальный.

Таблица 1

Средние значения радиационного баланса (кал/см²мин.) при различных условиях

Облава		Сия- ние	Период	$\frac{h_0}{h_0 \text{ при } B=0}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Беллы	форма				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0/0	-	☉ ²	IУ	9	-0,05	0,03	0,12	0,23	0,34	0,44	0,54	0,64	0,74	-	-	-
			У	9	-	0,01	0,09	0,19	0,30	0,39	0,48	0,57	0,67	0,74	0,80	-
			УI	-	-	-	0,09	0,19	0,28	0,37	0,46	0,55	0,65	0,73	0,79	0,84
			УII	-	-	0,01	0,09	0,18	0,27	0,36	0,44	0,53	0,62	0,70	0,78	0,83
			УIII	8	-0,04	0,04	0,12	0,21	0,30	0,38	0,48	0,56	0,65	0,74	0,82	0,88
			IX	8	-0,03	0,04	0,12	0,21	0,31	0,40	0,50	0,58	0,67	0,75	0,82	-
			X	8	-0,01	0,02	0,12	0,23	0,34	-	-	-	-	-	-	-
2-3	Ci и A, Cs	☉ ²	Средн. за бес- снежный период	-	-	0,03	0,12	0,21	0,29	0,38	0,47	0,55	0,64	0,72	0,80	0,90
			То же	9	-0,04	0,01	0,10	0,20	0,29	0,38	0,47	0,55	0,64	0,72	0,80	-
	Ci, Ac и Ac, Ci	☉, ☉ ²	"	10	-0,03	0,02	0,11	0,20	0,29	0,38	0,47	0,55	0,64	0,73	0,81	-
		☉ ²	"	8	-	0,03	0,11	0,20	0,29	0,38	0,48	0,57	0,66	0,75	-	-
	Ac и Sc	☉	"	9	-	0,01	0,10	0,20	0,29	0,39	0,48	0,56	-	-	-	-
		☉ ²	"	-	-	-	0,11	0,21	0,31	0,40	0,49	0,59	0,68	0,76	0,82	-
4-5	Ci и Ci, Cs	☉ ²	"	-	-	-	0,22	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72	0,80	-	
		☉	"	9	-0,03	0,01	0,09	0,18	0,28	0,37	0,46	0,55	0,63	0,68	0,70	-
	Ci, Ac и Ac, Ci	☉, ☉ ²	"	8	-	0,03	0,12	0,21	0,30	0,39	0,48	0,57	0,66	0,75	-	-
		☉ ²	"	9	-	0,02	0,12	0,24	0,34	0,44	0,55	0,65	0,74	0,82	0,88	0,92

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
4-5	Ac и Sc	⊙	Средн. за бес- снежн. период	7	-0,02	0,03	0,12	0,21	0,30	0,39	0,48	0,57	-	-	-	-
	Cu	⊙		7	-0,03	0,05	0,15	0,24	0,33	0,42	0,52	0,61	0,71	0,80	0,88	-
		(⊙°)		-	-	-	-	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,20
		(□)	-	-	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	-	
6-7	Si и Si, Cs	⊙	то же	10	-0,04	0,00	0,08	0,17	0,28	0,37	0,47	0,56	0,68	0,69	0,74	-
	Si, Ac и Ac, Si	⊙, ⊙²	"	9	-	0,02	0,11	0,21	0,30	0,40	0,50	0,59	0,68	0,75	-	-
	Ac и Sc	(⊙)	"	-	-	-	0,13	0,22	0,31	0,40	0,48	0,55	0,62	-	-	-
	Cu	(⊙²)	"	-	-	-	-	-	0,34	0,47	0,57	0,68	0,78	0,86	0,92	-
		⊙	"	-	-	-	0,15	0,25	0,35	0,46	0,56	0,66	0,76	0,82	0,88	0,92
		(⊙°)	"	-	-	-	0,06	0,09	0,12	0,14	0,17	0,20	0,23	0,25	-	-
		□	"	-	-	-	0,08	0,06	0,08	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20	0,22	-
8-9	Si и Si, Cs	(⊙²)	"	-	-	0,08	0,14	0,21	0,30	0,39	0,50	0,60	0,70	0,80	-	-
		⊙	"	10	-0,05	0,00	0,08	0,18	0,28	0,37	0,47	0,56	0,64	0,70	0,74	-
	Si, Ac и Ac, Si	⊙, ⊙²	"	7	-0,05	0,05	0,13	0,22	0,30	0,39	0,50	0,57	0,66	0,72	0,77	-
		⊙°	"	10	-0,04	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,24	0,27	0,31	0,33	-	-
		□	"	9	-0,02	0,00	0,04	0,08	0,13	0,18	0,23	0,27	0,31	0,33	-	-
	Sc	(⊙)	"	5	0,00	0,03	0,10	0,17	0,26	0,38	0,49	0,59	0,70	0,80	-	-
10 - 10	Cu и Cu, Cs	⊙	"	-	-	0,06	0,15	0,25	0,34	0,44	0,54	0,63	0,73	0,81	0,88	-
		(⊙°)	"	7	-0,01	0,02	0,05	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23	0,26	0,30	0,33	-
		□	"	-	-	0,01	0,03	0,06	0,08	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20	0,22	-
10	Si и Si, Cs	⊙	"	8	-0,04	0,02	0,10	0,19	0,27	0,36	0,44	0,52	0,61	0,68	0,74	-
	Sc и Cs, Si	(⊙)	"	6	-0,01	0,03	0,09	0,17	0,26	0,34	0,42	0,49	0,56	0,62	0,65	-
10	Ac, Si и Si, Ac	⊙	"	8	-0,02	0,02	0,09	0,17	0,25	0,33	0,41	0,49	0,57	0,65	-	-
		⊙°	"	10	-	0,00	0,04	0,10	0,15	0,20	0,25	0,29	0,33	0,37	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
10		□	Ср. за бесснежный период	10	-0,03	0,00	0,04	0,07	0,11	0,15	0,18	0,22	0,25	0,29	0,33	-
	Sc; Sc, Ac и Ac, Sc	□	то же	5	0,00	0,03	0,07	0,10	0,14	0,17	0,21	0,25	0,28	-	-	-
	Св с Си или Sc	(°) □	" "	6 8	-0,01 -	0,02 0,02	0,06 0,05	0,11 0,08	0,15 0,10	0,20 0,13	0,24 0,16	0,28 0,19	0,33 0,21	0,37 0,24	- 0,26	- -
10	Ac = Sc	(°)	"	-	-	-	-	0,11	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	-	-
	Ac; Ac, Sc и Sc, Ac	□	"	7	0,00	0,01	0,04	0,07	0,10	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26	-	-
	Sc	□	"	5	0,00	0,02	0,04	0,07	0,10	0,13	0,15	0,17	0,20	0,22	0,25	0,28
	Св (не преобл.)	□	"	-	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09	0,11	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23	-
	Св (преобл.)	□	"	6	-	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	-
	As	(□)	1У-У	-	-	0,01	0,04	0,07	0,10	0,13	0,16	0,20	0,23	0,26	-	-
			У1-УШ	-	-	0,02	0,04	0,06	0,09	0,11	0,13	0,16	-	-	-	-
	≡	□	У1-УШ	-	-	0,03	0,07	0,10	0,14	-	-	-	-	-	-	-
			1Х-Х	-	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	-	-	-	-	-	-
	St	□	1У-У	-	-	0,02	0,04	0,07	0,10	0,12	0,15	0,17	0,18	-	-	-
У1-УШ			-	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0,16	-	-	
1Х-Х			-	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,11	-	-	-	-	-	
Ns	□	1У-У	-	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	-	-	
		У1-Х	-	0,02	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,13	

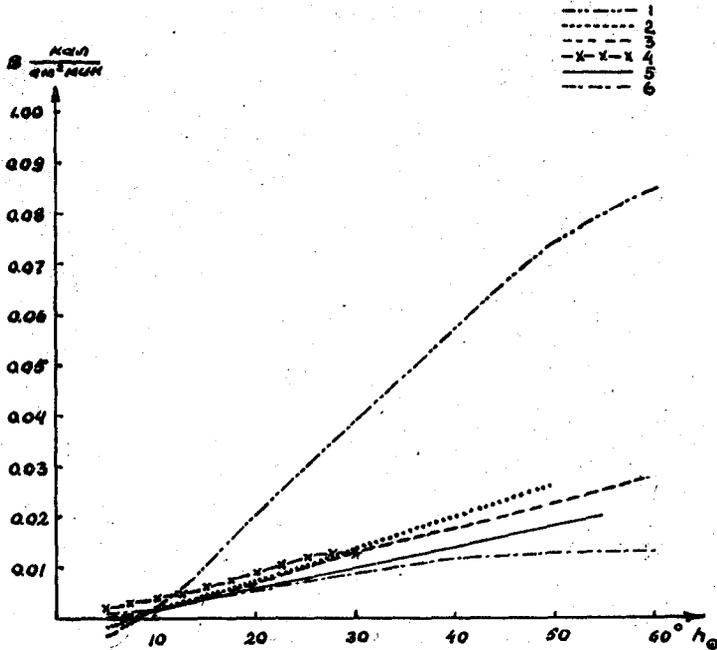


Рис.2. ЗАВИСИМОСТЬ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ОТ ВЫСОТЫ СОЛНЦА ПРИ ОБЛАЧНОСТИ 10 БАЛЛОВ РАЗНЫХ ФОРМ.

1 - ясно, 2 - A_c , 3 - S_c , 4 - туман, 5 - C_b , 6 - N_s .

за счет увеличения рассеянной солнечной радиации.

При облачности 10 баллов любых форм радиационный баланс меньше, чем при безоблачном небе, но при таких тонких облаках, как C_i и C_s , при которых наблюдается умеренное сияние солнца, он достигает в среднем 91 и 85% от наблюдающегося при безоблачном небе. При слабом сиянии солнца радиационный баланс гораздо меньше (при C_b - 50% и при A_c - 59% от B_0).

Вследствие малого числа измерений балансомером графики $B=f(h_0)$ при отметках 0° и Π и облачности, меньшей 10 баллов, удалось получить лишь для C_i . Но на основании результатов обработки более длительных рядов наблюдений суммарной (0°) и рассеянной (Π) радиации можно предполагать, что, как и при облачности 10 баллов, в случае основной роли рассеянной радиации максимальный баланс будет при A_c и S_c . При преобладании прямой солнечной радиации

наибольшая суммарная радиация и радиационный баланс наблюдаются при Cu ; наиболее отчетливо это проявляется при умеренном сиянии солнца (рис.3). Сравнение соответствующих средних значе-

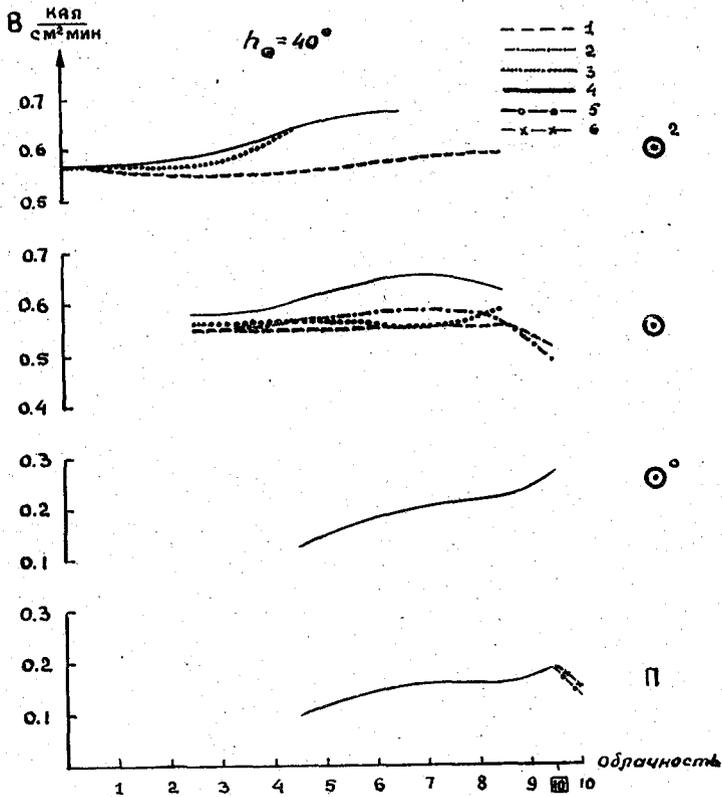


Рис.3. ЗАВИСИМОСТЬ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ОТ КОЛИЧЕСТВА ОБЛАКОВ РАЗНЫХ ФОРМ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ.

1 - Ci и Ci , Cs ; 2 - Ac , Ci и Ci, Ac ; 3 - Sc и Ac ;
 4 - Cu и Cb ; 5 - Sc , Cb и Cu , Cb ; 6 - Cb ; Sc ,
 Sc и Cb , Cu .

ний суммарной и рассеянной радиации показало, что в данном случае при Cu прямая радиация больше, чем при Ac , Sc и Ci . Это, очевидно, связано с тем, что Cu являются наиболее плотными облаками и отметка об умеренном сиянии солнца ставится тогда, когда край облака лишь коснется диска солнца.

Наименьшие значения суммарной солнечной радиации и радиационного баланса при отметках о сильном и умеренном сиянии солнца наблюдаются при облаках верхнего яруса, что обусловлено ми-

нимальной рассеянной и атмосферной радиацией при этих облаках.

Сопоставление средних значений радиационного баланса при неизменных количестве и форме облаков, но при различной интенсивности солнечного сияния показывает, что при умеренном сиянии солнца в среднем радиационный баланс лишь немного меньше, чем при открытом диске солнца. Это же подтверждается и для суммарной солнечной радиации и объясняется тем, что параллельно с уменьшением интенсивности прямой солнечной радиации при прохождении ее сквозь облако возрастает рассеянная радиация в около-солнечной области в связи с различием в индикатрисе рассеяния на молекулах воздуха и каплях или кристаллах.

Наименьшее снижение суммарной радиации и радиационного баланса при переходе от сильного к умеренному сиянию солнца по указанным ранее причинам происходит при кучевых облаках - на 2-3%, тогда как при остальных облаках на 10-13%.

Особенно сильно уменьшаются суммарная солнечная радиация и радиационный баланс при переходе от умеренного к слабому солнечному сиянию. Последующее снижение их при полном исчезновении прямой солнечной радиации значительно меньше (рис.3).

Исследуя с помощью полученных эмпирических данных зависимость радиационного баланса от количества облаков при неизменных прочих условиях можно прийти к выводу, что наиболее отчетливо она выражена при слабом сиянии солнца и его отсутствии, т.е. тогда, когда основную роль в приходе солнечной радиации играет рассеянная радиация (рис.3). Возрастание радиационного баланса с увеличением количества облаков идет в основном в соответствии с результатами, полученными для суммарной (при Θ^0) и рассеянной (при Π) радиации. Некоторое различие в изменениях радиационного баланса и рассеянной радиации наблюдается при переходе от облачности 8-9 баллов к $\boxed{10}$; рассеянная радиация при Su , Sb уже немного уменьшается, а радиационный баланс еще продолжает возрастать (рис.3), что обусловлено увеличением излучения атмосферы. При менее мощных облаках - Ac и Sc - возрастание рассеянной радиации происходит непрерывно до облачности $\boxed{10}$ и, очевидно, то же должно происходить с радиационным балансом.

При преобладании прямой солнечной радиации (отметки Θ^2 и Θ) возрастание радиационного баланса с увеличением количества облаков отчетливо выражено лишь при Su (рис.3).

Изменения радиационного баланса в связи с изменением количества волнистых облаков и облаков верхнего яруса менее отчетливы, чем для суммарной радиации.

Из табл.2 и рис.3 можно видеть, что при облачности, меньшей 10 баллов, радиационный баланс может быть больше, чем при безоблачном небе. При открытом диске солнца это наблюдается при всех облачных формах за счет большей, чем при безоблачном небе, рассеянной и атмосферной радиации, а при умеренном его сиянии - лишь при конвективных облаках, когда, как уже указывалось, прямая солнечная

радиация мало снижается. Так, при облачности 6-7 и 8-9 баллов S_{Σ} (S_{Σ}) радиационный баланс в среднем на 13% больше, чем при безоблачном небе.

Полученные результаты показывают, что изменения дневных величин радиационного баланса в бесснежный период определяются в основном изменениями в приходе солнечной радиации.

Сопоставляя роль различных факторов, можно прийти к выводу, что лишь при преобладании рассеянной радиации необходимо учитывать форму и количество облаков. При основной роли прямой солнечной радиации (отметки \ominus^2 и \ominus) недоучет этих факторов вносит уже малую относительную погрешность в определение радиационного баланса. Основную роль наряду с высотой солнца играет наличие прямой солнечной радиации.

Интересно было сопоставить полученные нами средние величины радиационного баланса естественной поверхности с данными других авторов. С этой целью в табл.3 приведены средние величины радиационного баланса поверхности тундры (альбедо 13-17%) при безоблачном небе и облачности 10/10 (без указания формы облаков) из статьи Л.Ф.Овчинникова [8]. К сожалению, в литературе нет других данных по зависимости радиационного баланса от высоты солнца при различных условиях. В эту же таблицу внесены результаты настоящей работы: радиационный баланс при безоблачном небе за апрель и при нижней облачности, средний за бесснежный период, для St и Sc , поскольку в Арктике эти облака являются преобладающими.

Таблица 2

Радиационный баланс (в кал/см² мин.) при различных высотах солнца на о.Котельном [1] и в умеренных широтах СССР [2]

Облачность	h_0 район	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
		0/0	1	-0,04	0,05	0,15	0,26	0,36
	2	-0,05	0,03	0,12	0,23	0,34	0,44	0,54
10/10 (?)	1	0,0	0,02	0,07	0,11	0,16	0,21	0,26
10/10 St	2	0,01	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13
10/10 Sc	2	0,0	0,02	0,04	0,07	0,10	0,13	0,15

Можно видеть, что, несмотря на различное влагосодержание атмосферы, температуру и температурную стратификацию нижних слоев атмосферы, радиационный баланс естественной поверхности при безоблачном небе в Арктике сравнительно мало отличается от наблюдаемого в умеренных широтах. Аналогичный результат был получен и при сравнении суммарной радиации при безоблачном небе [5]. Наоборот, при облаках нижнего яруса радиационный баланс в высоких широтах гораздо выше, чем в умеренных, что обусловлено в первую очередь большей рассеянной радиацией при менее плотном, чем в

умеренных широтах, облачном покрове в Арктике [5].

Совпадение средних величин радиационного баланса, полученных для запада и северо-запада Европейской территории Союза и для Сибири, позволяет предполагать, что эти значения радиационного баланса могут быть использованы и для других районов СССР. По-видимому, наибольшая погрешность при этом будет допущена для юга и особенно юго-востока СССР, где почва сухая, вертикальная мощность облаков меньше, а альбедо выше, чем в рассмотренных нами районах.

Л и т е р а т у р а

1. Барашкова Е.П. Длинноволновый баланс подстилающей поверхности по наблюдениям в Карадаге. Труды ГГО, вып.100, 1960.
2. Барашкова Е.П. Длинноволновый баланс в некоторых пунктах СССР. Труды ГГО, вып.109, 1961.
3. Браславский А.П. и Викулина З.А. Нормы испарения с поверхности водохранилищ. Гидрометеоздат, 1954.
4. Будыко М.И., Берлянд Т.Г. и Зубенок Л.И. Методика климатологических расчетов составляющих теплового баланса. Труды ГГО, вып.48, 1954.
5. Гальперин Б.М. О суммарной и рассеянной радиации в Арктике. Труды ААНИИ, т.229, 1961.
6. Гальперин Б.М. Суточный приход суммарной солнечной радиации при различных облаках. Труды ГГО, вып.125, 1962.
7. Калитин Н.Н. Суммарная радиация в Павловске. Труды ГГО, вып.19, 1949.
8. Овчинников Л.Ф. Радиационный баланс Новосибирских островов. Труды ААНИИ, т.229, 1961.
9. Пивоварова З.И. Радиационный баланс деятельной поверхности и методика его обработки. Труды ГГО, вып.61, 1956.
10. Пивоварова З.И. Основные характеристики радиационного режима Европейской территории СССР. Труды ГГО, вып.115, 1960.
11. Самойленко В.С. Формирование температурного режима морей. Гидрометеоздат, М., 1959.
12. Haurwitz В. Insolation in relation to cloud type. Journal of meteorology, vol.5, N 3, 1948.