



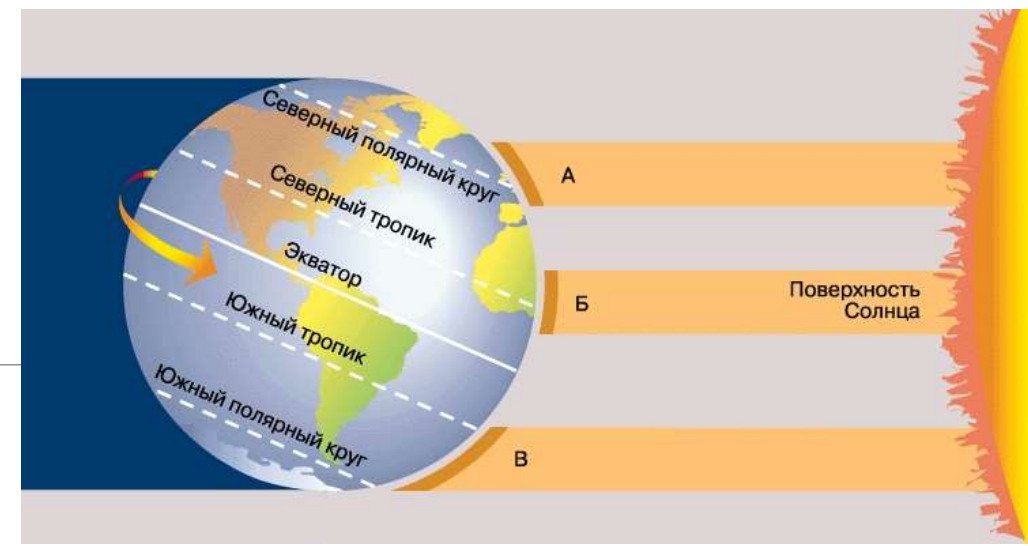
# ДОСТУПНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

---

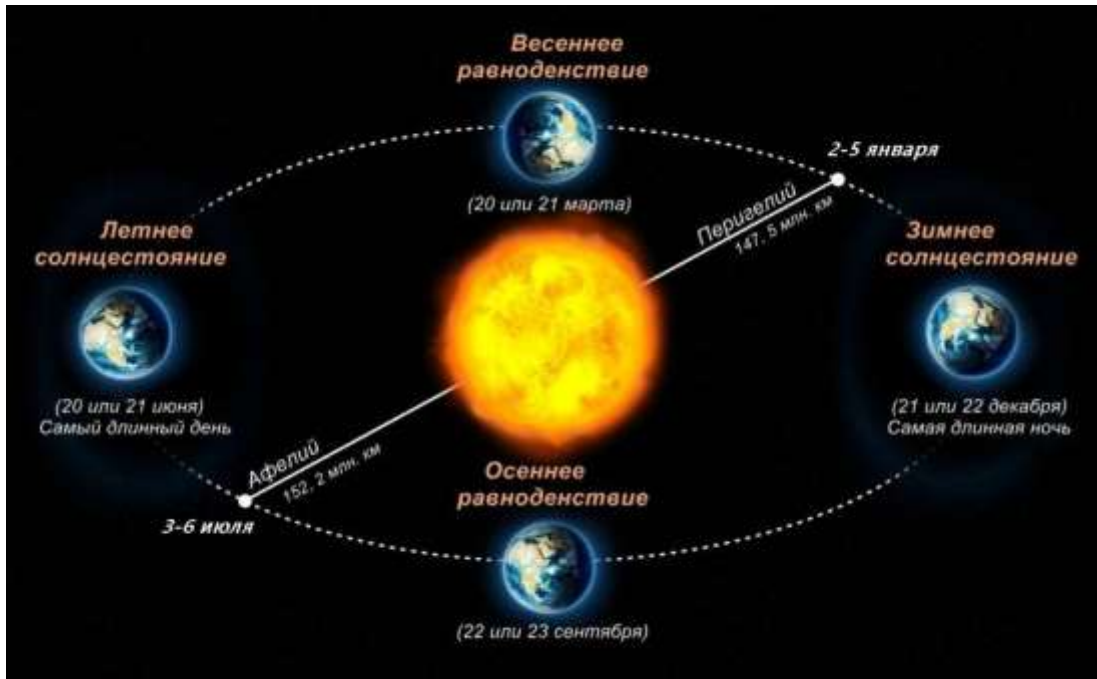
ЛЕКЦИЯ 7

Количество солнечной радиации, поступающее на верхней границе земной атмосферы в единицу времени на единичную поверхность, перпендикулярную солнечным лучам, при *среднем* расстоянии Земли от Солнца, называется **солнечной постоянной  $S_0$** .

$$S_0 = 1,38 \text{ кВт/м}^2 \text{ или } S_0 = 1,98 \text{ кал/(см}^2 \text{ мин)}$$



Наряду с понятием солнечной постоянной, включающей энергию всех длин волн (ее называют также **астрономической солнечной постоянной**), некоторые авторы (И. Георги, С. И. Сивков) предложили ввести понятие **метеорологической солнечной постоянной**. Представляющей поток солнечной радиации на верхней границе атмосферы в спектральном интервале от 0,29 до 2,4 мкм, т.е. из спектра солнечной радиации исключается та часть излучения, которая никогда не достигает тропосферы и не оказывает влияния на ее тепловой режим.



Расстояние от Земли до Солнца меняется от минимального значения (Перигелий) – 147,1 млн км (0,983 а.е.) до максимального (Афелий) - 152,1 млн км (1,017 а.е.).

Среднее расстояние – 149,6 млн км (1 а.е. – астрономическая единица)

Солнечная радиация, прежде чем достигнет земной поверхности, проходит длинный путь в слое атмосферы. Здесь солнечная радиация подвергается ряду весьма существенных изменений.

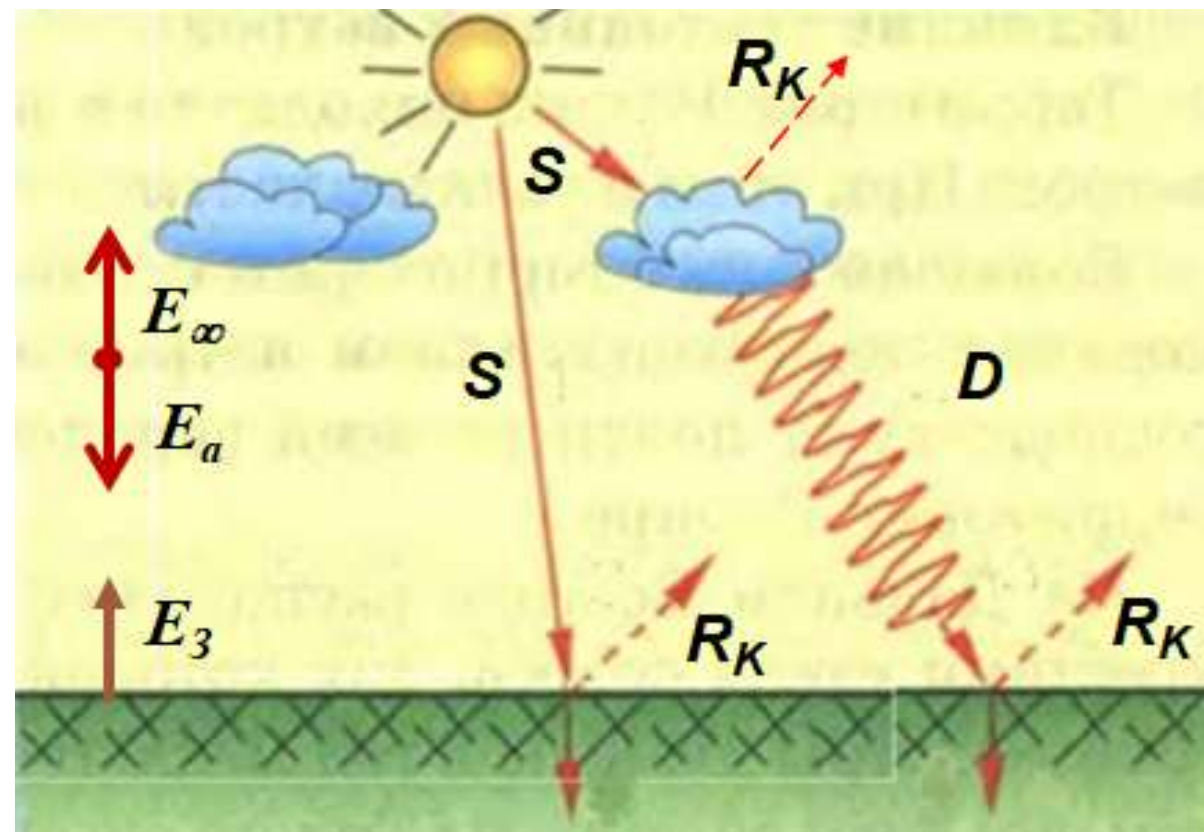
Полный поток радиации  $F$  всех длин волн описывается интегралом

$$F = \int_0^{\infty} F_{\lambda} d\lambda$$

Пусть на тело падает монохроматический поток радиации  $F_{\lambda}$  часть которого поглощается телом  $F_{\lambda}'$ , часть - отражается  $F_{\lambda}''$  и часть - проходит сквозь него  $F_{\lambda}'''$ .

$$\frac{F_{\lambda}'}{F_{\lambda}} + \frac{F_{\lambda}''}{F_{\lambda}} + \frac{F_{\lambda}'''}{F_{\lambda}} = 1$$

$$a_{\lambda} + r_{\lambda} + d_{\lambda} = 1$$



Все это приводит к тому, что при прохождении солнечной радиации через атмосферу будет происходить уменьшение притока энергии.

**Общее ослабление** радиации от границы атмосферы при любом положении солнца до земной поверхности, если луч проходит  $m$  атмосфер, выражается формулой Бугера

$$S_m = S_0 p^m$$



$$E_{эф} = E_3 - \delta E_a \quad B = Q(1 - A) - E_{эф}$$



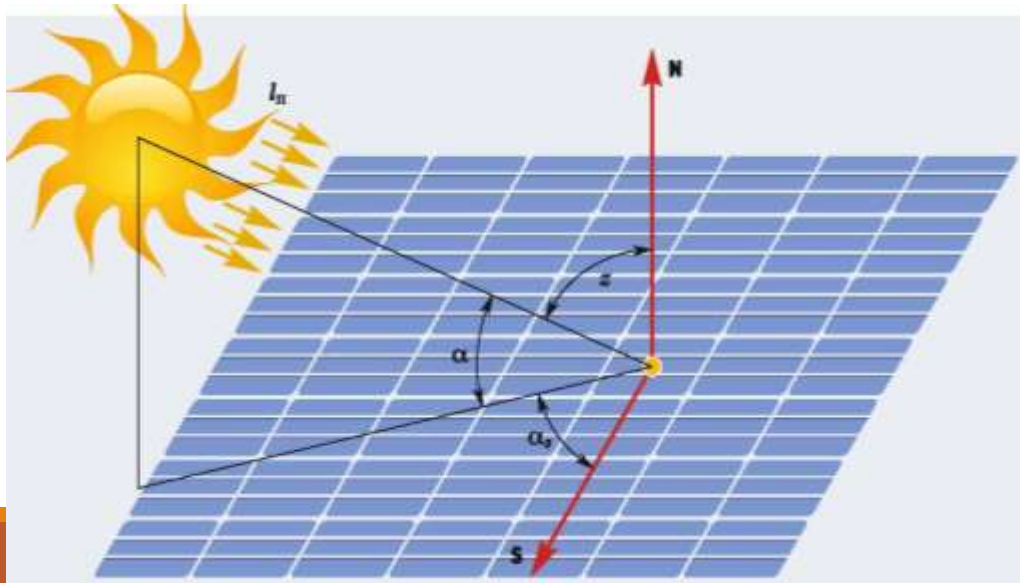
**Солнце**



**Возможной суммой** называется количество прямой солнечной радиации, которое поступало бы в данном месте при **средней** для него **прозрачности атмосферы** и **при полном отсутствии облаков** за тот или иной промежуток времени, на единичную горизонтальную площадку, находящуюся на земной поверхности .

$$\frac{S_1}{S_0} = p$$

**Максимально возможная** солнечная радиации на уровне земной поверхности – величина поступающей солнечной энергии «в экстремально благоприятных» для этого условиях – сочетание **высокой степени прозрачности атмосферы** с **наличием на небосводе разорванной облачности** при **полностью открытом солнечном диске**, а в некоторых случаях и при высоком альбедо подстилающей поверхности.



**Действительной суммой** прямой радиации называется фактическое ее количество, поступившее за тот или иной промежуток времени на единичную горизонтальную площадку, находящуюся на земной поверхности.

Кроме прозрачности атмосферы и облачности большое влияние на суммарную радиацию оказывает характер подстилающей поверхности.

Исследования зависимости структурной функции от расстояния между пунктами наблюдений позволили оценить точность сумм радиации, полученных на актинометрической сети станций.

Среднеквадратические ошибки (%)  
суточных, месячных и годовых сумм радиации

Характеристика	январь	апрель	июль	октябрь	год
Суточные суммы					
прямой радиации	40	20	15	30	–
рассеянной радиации	20	11	9	11	–
суммарной радиации	15	9	8	12	–
радиационного баланса	50	17	10	15	–
Средние месячные и годовые суточные суммы:					
прямой радиации	12	–	5	–	3
рассеянной радиации	6	–	3	–	2
суммарной радиации	8	4	3	6	1,5–2
радиационного баланса	20–30	7	5	15	3–4

Ошибки выражены в процентах от нормы. Погрешность в долях от стандартного отклонения  $\sigma$  составляет 0,25–0,35, что соответствует мере ошибки измерений 0,06–0,10



Отношение прямой радиации на нормальную поверхность на 47° с. ш. к радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы (%)

Дата	Высота, м				Суммарная радиация, приходящая на верхнюю границу атмосферы, Вт/м <sup>2</sup>
	200	1000	2000	3000	
15 декабря	37	48	58	61	488
15 июня	51	58	67	72	865

Измерения, сделанные в обсерваториях Юнгфрауйох, Зоннблик и Цугшпитце, которые расположены в Австрийских Альпах показали, что **для безоблачных условий** солнечная суммарная радиация на **высоте 3000 м на 32% больше**, чем на **высоте 200 м, в декабре, на 25% больше в марте и сентябре** и **на 22% больше в июне**. Это означает, что она **увеличивается на 7–10% на 1 км**, т. е. значительно быстрее, чем растет прямая радиация с высотой в идеальной атмосфере.

В условиях сплошной облачности (пасмурное небо) солнечная суммарная радиация увеличивается на 9–11% на 1 км во все месяцы. Отношение суммарной радиации при сплошной облачности к ее величине при безоблачном небе значительно возрастает с высотой – от величины 0,22 на высоте 200 м во все сезоны до 0,40 на высоте 3000 м летом и осенью, достигая 0,50 зимой и весной.

**Чем выше отношение, тем меньше облачный покров влияет на радиационные условия.**

# ПРИРОДНЫЕ ЗОНЫ КАЗАХСТАНА

Природные условия Казахстана весьма разнообразны. Территория его расположена в четырех природных ландшафтных зонах: лесостепной, степной, полупустынной и пустынной.

Большую часть страны занимают низменности и равнины, окаймленные на востоке и юго-востоке высокими горными хребтами Алтая и Северного Тянь-Шаня. Площадь горных районов занимает около 10% общей территории

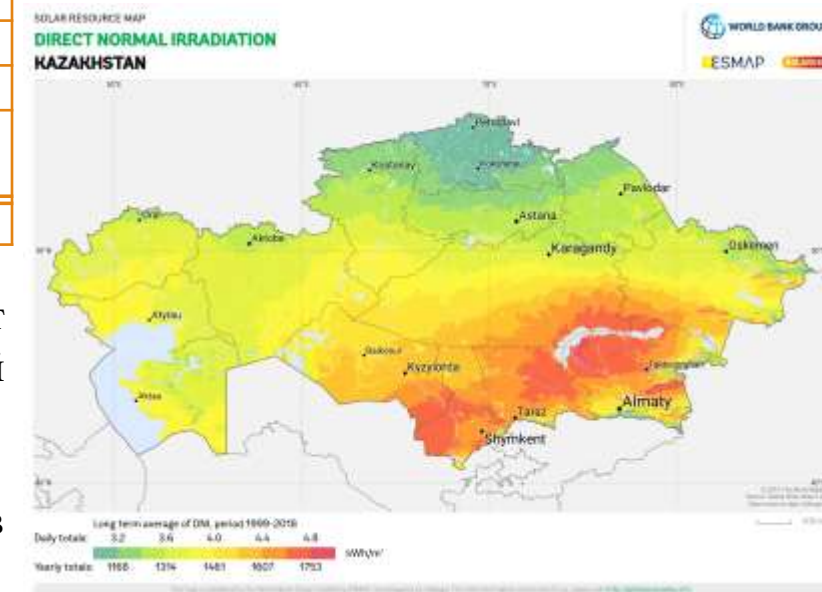
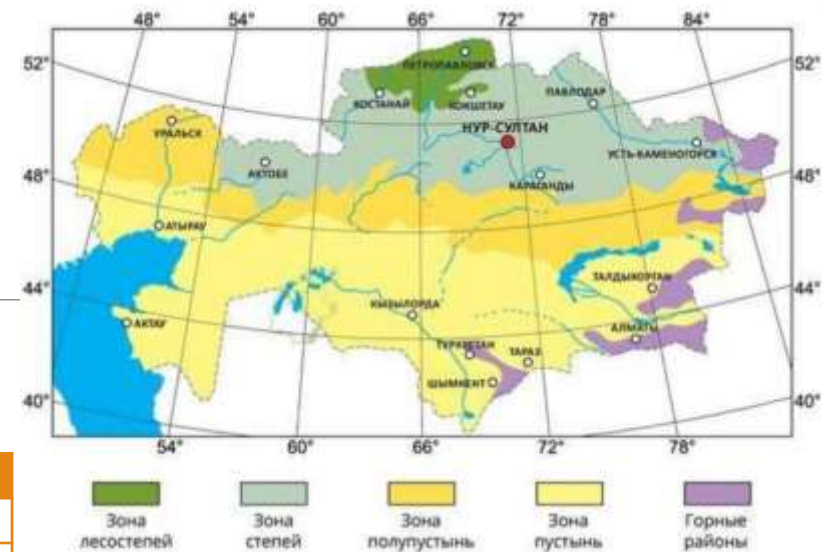
Месячные значения альbedo территории суши для суммарной солнечной радиации

Географическая зона	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Пустыня	0,44	0,44	0,24	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,34
Сухая степь	0,35	0,35	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,35
Степь	0,70	0,70	0,70	0,31	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,20	0,51	0,70
Лесостепь	0,46	0,46	0,46	0,45	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,37	0,46	0,46
Лиственные и смешанные леса	0,60	0,60	0,38	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,28	0,48	0,60
Хвойные леса	0,50	0,50	0,50	0,50	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,37	0,50	0,50

Альbedo, или отражательной способностью какой-либо поверхности, называют отношение потока отраженной данной поверхностью радиации к потоку падающей радиации, выраженное в долях единицы или в процентах.

Наблюдения показывают, что альbedo различных поверхностей изменяется в сравнительно узких пределах (10–30 %); исключение составляют снег и вода.

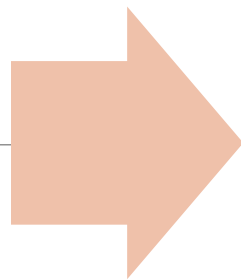
На территории Казахстана альbedo естественных ландшафтов весьма разнообразно и составляет летом от 15 до 35 % в зависимости от цвета почвы и состояния растительности





# МЕТОД РАСЧЕТА СУММ ПРЯМОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

## МЕТОД ТРАПЕЦИИ



В основу метода расчета сумм радиации за определенный интервал времени положено допущение о линейном изменении значений интенсивности рассматриваемых величин от срока к сроку.

$$S_{\text{сут}} = \frac{S_1}{2} \tau_1 + \left( \frac{S_1}{2} + S_2 + S_3 + S_4 + \frac{S_5}{2} \right) 180 + \frac{S_5}{2} \tau_2,$$

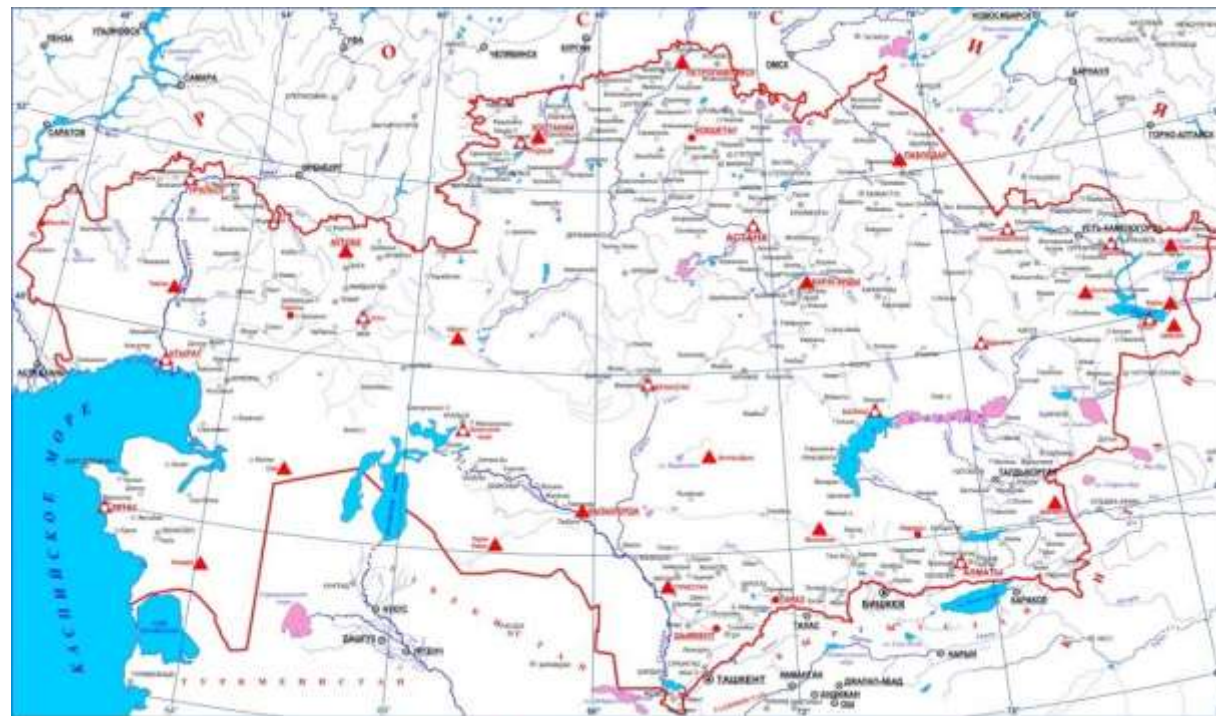
$$S_{\text{мес}} = \sum_{i=1}^N S_{\text{сут}},$$

$S_1$  - интенсивность прямой радиации в первый срок наблюдения;  
 $S_2$  - интенсивность прямой радиации во второй срок наблюдения;  
 $S_n$  (в данном случае  $S_5$ ) - интенсивность радиации в последний срок наблюдения;

$\tau_1$  - промежуток времени между восходом солнца и первым сроком наблюдения, выраженный в минутах;

$\tau_2$  - промежуток времени между последним сроком наблюдения и заходом солнца, выраженный в минутах;

$N$  - число календарных дней в месяце.



▲ - метеорологическая станция с гелиографом; ■ - актинометрическая станция; ▲ - актинометрическая станция с гелиографом

## Месячные суммы прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность (МДж/м<sup>2</sup>)

В ослаблении солнечной радиации большую роль играет атмосфера. Земная поверхность получает в виде возможной прямой солнечной радиации относительно теоретической в январе от 10% до 18%, в апреле и июле 28–35%, а в октябре 19–25%.

**Возможный приток** солнечной радиации в зимний период возрастает от северных районов республики к южным рубежам и имеет хорошо выраженный широтный характер. На равнинной территории Казахстана изменение интенсивности возможной прямой солнечной радиации в среднем для января составляет от 110 МДж/м<sup>2</sup> до 210 МДж/м<sup>2</sup>, а в октябре от 290 МДж/м<sup>2</sup> до 390 МДж/м<sup>2</sup>.

Для весеннего и летнего периодов отклонение от широтной зональности поступления прямой солнечной радиации проявляется более существенно как для возможного, так и действительного притока радиации. Так, для апреля изолинии возможной суммы прямой радиации соответствуют осредненной величине 510 МДж/м<sup>2</sup> (на севере) и 610 МДж/м<sup>2</sup> (на юге). Фактические значения прямой радиации составляют в среднем 290 МДж/м<sup>2</sup> (на севере) и 350 МДж/м<sup>2</sup> (на юге).

**Действительные суммы** прямой солнечной радиации тесно связаны с коэффициента прозрачности атмосферы. последний зависит от содержания в атмосфере водяного пара и аэрозолей: чем их больше, тем меньше значение коэффициента прозрачности при прочих равных условиях.

Название станции	S <sub>Т</sub>	S <sub>В</sub>	S <sub>Д</sub>	S <sub>В</sub> /S <sub>Т</sub> %	S <sub>Д</sub> /S <sub>В</sub> %	S <sub>Т</sub>	S <sub>В</sub>	S <sub>Д</sub>	S <sub>В</sub> /S <sub>Т</sub> %	S <sub>Д</sub> /S <sub>В</sub> %
	январь					апрель				
Рудный	874	92	35	11	38	1759	494	283	28	57
Астана, ГМО	1003	117	45	12	39	1768	559	282	32	50
Уральск	1084	109	42	10	38	1761	523	273	30	52
Жаныбек	1067	141	40	13	28	1773	574	270	32	47
Актау	1204	200	52	17	26	1788	568	306	32	54
Теректы	1078	157	53	15	34	1779	586	321	33	55
Жезказган	1119	172	70	15	41	1776	610	327	34	54
Балхаш, ОГМО	1185	187	96	16	51	1789	610	375	34	61
Семипалатинск, АС	1026	123	49	12	40	1773	560	292	32	52
Селезневка	1113	128	50	12	39	1774	560	311	32	56
Приозерный	1116	159	79	14	49	1779	608	358	34	59
Аральское Море	1150	180	80	16	45	1782	600	362	34	60
Айдарлы	1238	222	105	18	47	1799	632	337	35	53
Алматы, ГМО	1232	171	74	14	43	1791	568	254	32	45
	июль					октябрь				
Рудный	2364	695	390	29	56	1416	270	100	19	37
Астана, ГМО	2362	757	428	32	57	1632	318	109	19	34
Уральск	2360	696	410	29	59	1463	297	103	20	35
Жаныбек	2359	713	428	30	60	1492	317	129	21	41
Актау	2333	691	486	30	70	1572	365	187	23	51
Теректы	2359	765	474	32	62	1505	344	155	23	45
Жезказган	2355	782	508	33	65	1524	360	175	24	49
Балхаш, ОГМО	2367	784	588	33	75	1532	383	214	25	56
Семипалатинск, АС	2361	744	448	32	60	1473	323	119	22	37
Селезневка	2348	766	464	33	61	1519	328	145	22	44
Приозерный	2351	804	546	34	68	1524	366	187	24	51
Аральское Море	2349	761	572	32	75	1545	365	210	24	58
Айдарлы	2338	805	574	34	71	1603	398	227	25	57
Алматы, ГМО	2328	742	499	32	67	1594	346	196	22	57