



# ОЦЕНКА ДОСТУПНОГО ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА

---

ЛЕКЦИЯ 11

Солнечная энергия по сравнению с другими видами энергии обладает исключительными свойствами:

- ✓ практически неисчерпаема,
- ✓ экологически чиста,
- ✓ управляема, а
- ✓ по величине в тысячи раз превосходит всю энергию других природных источников.

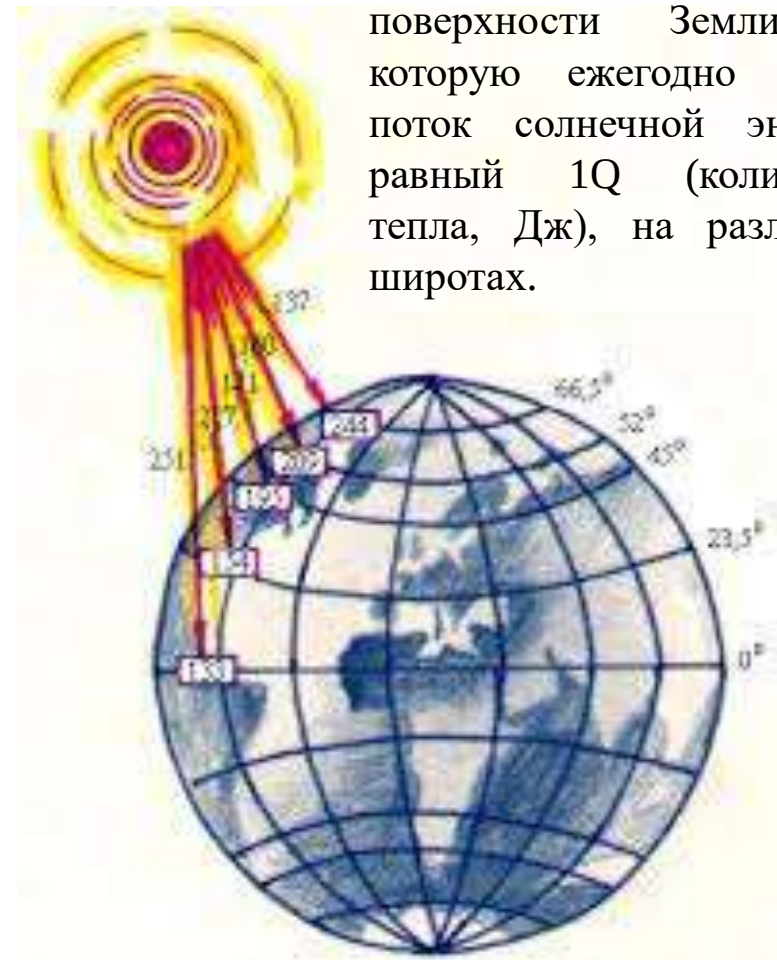


Экологические преимущества солнечной энергии:

1. Уменьшение загрязнения воздуха.
2. Сокращает потребление воды.
3. Снижает зависимость от не возобновляемых источников энергии.
4. Улучшает здоровье человечества в долгосрочной перспективе.
5. Помогает адаптироваться к климатическим изменениям.

| Широта, ° | Интенсивность, Вт/м <sup>2</sup> | Площадь, тыс. км <sup>2</sup> |
|-----------|----------------------------------|-------------------------------|
| 66,5      | 137                              | 244                           |
| 52        | 160                              | 209                           |
| 45        | 171                              | 195                           |
| 23,5      | 217                              | 154                           |
| 0         | 251                              | 133                           |

Интенсивность солнечной радиации и площадь поверхности Земли, на которую ежегодно падает поток солнечной энергии, равный 1Q (количество тепла, Дж), на различных широтах.



На экваторе интенсивность составляет 251 Вт/м<sup>2</sup>, необходимая площадь – 133 тыс. км<sup>2</sup>.

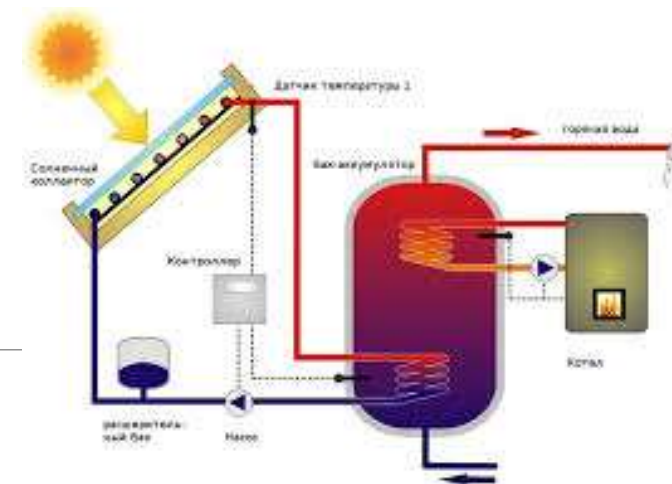
Потенциал эксплуатационного ресурса солнечной энергии оценивается по мощности от 100 до 500 ТВт. Из-за малой плотности этой энергии техносфера потребляет ничтожную ее часть.

Гелиоэнергетиков больше интересуют способы концентрирования солнечной энергии, а также ее прямое преобразование в электроэнергию.

Работы по трансформации солнечной энергии в электрическую энергию ведутся по двум направлениям:

- создание солнечных электростанций (СЭС), в которых теплоэлектропаровой котёл, характерный для ТЭС, заменен солнечным паровым котлом;
- разработка полупроводниковых фотоэлектропреобразователей — фотоэлементов, способных превращать солнечную энергию непосредственно в электрическую.

Наиболее практическое применение в мире получили гибридные солнечно-топливные электростанции.



Коллекторы подразделяют на две большие категории:

- солнечные коллекторы без концентраторов (плоские коллекторы) и
- солнечные коллекторы с концентраторами.



Для оценки радиационных ресурсов в гелиотехнике может использоваться критерий:

$$Q = Q_0 - n^2 / 2$$

где  $Q$  – инсоляция за оцениваемый период;  
 $Q_0$  – возможная инсоляция;  
 $n$  – общая облачность (в долях единицы) за тот же период.

даже при сплошной облачности средняя суммарная радиация составит половину возможной

Другим критерием можно использовать **суммы ясных и полужасных дней** в том или ином районе, которая должна **превышать 200 дней в году**

Пример: при выборе комплекса радиационных показателей для оценки гелиоресурсов учитываются следующие показатели:

- 1 Из трех видов коротковолновой радиации – прямая, рассеянная и суммарная – для районирования выбирается суммарная радиация и используются среднемесячные значения (МДж/м<sup>2</sup>).
- 2 При равных суммах среднемесячной суммарной радиации в двух районах преимущество отдается тому району, в котором большая доля (в суммарной радиации) приходится на прямую, а меньшая на рассеянную солнечную радиацию. В связи с этим в качестве показателя можно использовать отношение (%) годовой суммы прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность к годовой сумме суммарной радиации для каждого района (по данным актинометрических станций).
- 3 В качестве показателя используется тип распределения суточных сумм суммарной радиации характеризующий внутримесячную изменчивость (повторяемость) рассматриваемых величин.
- 4 Число часов суммарной радиации со средней часовой мощностью более 600 Вт/м<sup>2</sup> (2,16 МДж/м<sup>2</sup>) в годовой совокупности многолетних внутрисуточных распределений. Уровень 600 Вт/м<sup>2</sup> можно признать достаточным.
- 5 Относительная характеристика межгодовой изменчивости – коэффициент вариации годовых сумм суммарной радиации. Данный коэффициент отражает степень устойчивости (из года в год) радиационного режима.

Наиболее удобными формами представления актинометрической информации для целей гелиотехники

Значения суммарной продолжительности (t, час) при заданных величинах притока прямой солнечной радиации на нормальную к лучу и горизонтальную поверхность не менее 2,88 МДж/м² (1), 2,16 МДж/м² (2), 1,5 МДж/м² (3) и интервала времени с солнцем 95% обеспеченности (T<sub>95%</sub>, час)

| Название станции  | Нормальная к лучу поверхность                  |                           |        |     |     |                                                |                           |        |     |     | Горизонтальная поверхность                     |                           |        |     |     |                                                |                           |        |     |     |
|-------------------|------------------------------------------------|---------------------------|--------|-----|-----|------------------------------------------------|---------------------------|--------|-----|-----|------------------------------------------------|---------------------------|--------|-----|-----|------------------------------------------------|---------------------------|--------|-----|-----|
|                   | ясное небо                                     |                           |        |     |     | средние условия облачности                     |                           |        |     |     | ясное небо                                     |                           |        |     |     | средние условия облачности                     |                           |        |     |     |
|                   | $\bar{S}$ 10 <sup>6</sup><br>Дж/м <sup>2</sup> | T <sub>95%</sub> ,<br>час | t, час |     |     | $\bar{S}$ 10 <sup>6</sup><br>Дж/м <sup>2</sup> | T <sub>95%</sub> ,<br>час | t, час |     |     | $\bar{S}$ 10 <sup>6</sup><br>Дж/м <sup>2</sup> | T <sub>95%</sub> ,<br>час | t, час |     |     | $\bar{S}$ 10 <sup>6</sup><br>Дж/м <sup>2</sup> | T <sub>95%</sub> ,<br>час | t, час |     |     |
|                   |                                                |                           | 1      | 2   | 3   |                                                |                           | 1      | 2   | 3   |                                                |                           | 1      | 2   | 3   |                                                |                           | 1      | 2   | 3   |
|                   | Январь                                         |                           |        |     |     |                                                |                           |        |     |     |                                                |                           |        |     |     |                                                |                           |        |     |     |
| Рудный            | 2,15                                           | 4,6                       | 2,3    | 1,7 | 1,2 | 0,97                                           | 5,3                       | 1,1    | 0,6 | 0,3 | 0,29                                           | 8,0                       | 0,0    | 0,0 | 0,0 | 0,22                                           | 6,6                       | 0,0    | 0,0 | 0,0 |
| Астана, ГМО       | 2,15                                           | 6,9                       | 3,4    | 2,5 | 1,8 | 0,87                                           | 7,8                       | 1,4    | 0,6 | 0,3 | 0,38                                           | 8,4                       | 0,2    | 0,0 | 0,0 | 0,21                                           | 8,4                       | 0,0    | 0,0 | 0,0 |
| Уральск, ГМБ      | 1,92                                           | 7,1                       | 3,2    | 2,3 | 1,6 | 0,73                                           | 8,1                       | 1,0    | 0,4 | 0,2 | 0,34                                           | 8,4                       | 0,1    | 0,0 | 0,0 | 0,19                                           | 8,4                       | 0,0    | 0,0 | 0,0 |
| Жаныбек           | 2,21                                           | 6,4                       | 3,3    | 2,4 | 1,7 | 0,61                                           | 8,1                       | 0,7    | 0,2 | 0,1 | 0,47                                           | 8,6                       | 0,4    | 0,1 | 0,0 | 0,17                                           | 8,6                       | 0,0    | 0,0 | 0,0 |
| Актау             | 2,61                                           | 6,2                       | 3,5    | 2,7 | 2,1 | 0,74                                           | 7,0                       | 0,9    | 0,4 | 0,1 | 0,85                                           | 8,2                       | 1,4    | 0,6 | 0,3 | 0,25                                           | 8,8                       | 0,0    | 0,0 | 0,0 |
| Теректы           | 2,44                                           | 6,5                       | 3,5    | 2,7 | 2,0 | 0,92                                           | 7,3                       | 1,4    | 0,7 | 0,3 | 0,52                                           | 8,7                       | 0,5    | 0,1 | 0,0 | 0,20                                           | 8,7                       | 0,0    | 0,0 | 0,0 |
| Жезказган         | 2,50                                           | 6,6                       | 3,6    | 2,8 | 2,1 | 1,15                                           | 6,9                       | 1,9    | 1,1 | 0,6 | 0,58                                           | 8,7                       | 0,7    | 0,2 | 0,1 | 0,26                                           | 8,7                       | 0,0    | 0,0 | 0,0 |
| Балхаш, ОГМО      | 2,58                                           | 6,7                       | 3,7    | 2,9 | 2,2 | 1,46                                           | 7,0                       | 2,5    | 1,6 | 1,0 | 0,65                                           | 8,9                       | 0,9    | 0,3 | 0,1 | 0,39                                           | 8,9                       | 0,2    | 0,0 | 0,0 |
| Семипалатинск, АС | 2,07                                           | 6,9                       | 3,4    | 2,4 | 1,7 | 0,85                                           | 8,1                       | 1,4    | 0,6 | 0,3 | 0,40                                           | 8,5                       | 0,2    | 0,0 | 0,0 | 0,21                                           | 8,5                       | 0,0    | 0,0 | 0,0 |
| Селезневка        | 1,84                                           | 7,0                       | 3,1    | 2,2 | 1,5 | 0,82                                           | 7,8                       | 1,3    | 0,6 | 0,2 | 0,38                                           | 8,6                       | 0,2    | 0,0 | 0,0 | 0,20                                           | 8,6                       | 0,0    | 0,0 | 0,0 |
| Приозерный        | 2,27                                           | 6,7                       | 3,5    | 2,6 | 1,9 | 1,18                                           | 7,5                       | 2,1    | 1,2 | 0,7 | 0,56                                           | 8,7                       | 0,6    | 0,2 | 0,1 | 0,30                                           | 8,7                       | 0,1    | 0,0 | 0,0 |
| Аральское Море    | 2,56                                           | 6,5                       | 3,6    | 2,8 | 2,1 | 1,23                                           | 7,0                       | 2,1    | 1,2 | 0,7 | 0,63                                           | 8,9                       | 0,8    | 0,3 | 0,1 | 0,29                                           | 8,9                       | 0,1    | 0,0 | 0,0 |
| Айдарлы           | 2,73                                           | 5,9                       | 3,4    | 2,7 | 2,1 | 1,41                                           | 6,9                       | 2,4    | 1,5 | 0,9 | 0,78                                           | 9,2                       | 1,3    | 0,6 | 0,2 | 0,42                                           | 9,2                       | 0,3    | 0,1 | 0,1 |
| Алматы, ГМО       | 2,12                                           | 6,4                       | 3,1    | 2,3 | 1,6 | 0,83                                           | 7,8                       | 1,3    | 0,6 | 0,2 | 0,63                                           | 9,3                       | 0,9    | 0,3 | 0,1 | 0,28                                           | 9,3                       | 0,0    | 0,0 | 0,0 |
| Алматы, агро      | 2,96                                           | 6,2                       | 3,7    | 3,0 | 2,3 | 1,55                                           | 6,7                       | 2,5    | 1,7 | 1,0 | 0,95                                           | 8,5                       | 1,7    | 0,9 | 0,4 | 0,52                                           | 9,3                       | 0,5    | 0,1 | 0,1 |

В январе при ясном небе величина притока прямой солнечной радиации с вероятностью не превышения 95% составляет 8–13 МДж/м² в северных районах республики, 15–17 МДж/м² в центральном регионе, достигая 18,7 МДж/м² в районе озера Балхаш. При средних условиях облачности значения величин S<sub>p=95%</sub> значительно уменьшаются (примерно в два раза).



Значения суммарной продолжительности (t, час) при заданных величинах притока прямой солнечной радиации на нормальную к лучу и горизонтальную поверхность не менее 2,88 МДж/м<sup>2</sup> (1), 2,16 МДж/м<sup>2</sup> (2), 1,5 МДж/м<sup>2</sup> (3) и интервала времени с солнцем 95% обеспеченности (T<sub>95%</sub>, час)

| Название станции  | Нормальная к лучу поверхность |                   |        |     |     |                            |                   |        |     |     | Горизонтальная поверхность |                   |        |     |     |                            |                   |        |     |     |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|--------|-----|-----|----------------------------|-------------------|--------|-----|-----|----------------------------|-------------------|--------|-----|-----|----------------------------|-------------------|--------|-----|-----|
|                   | ясное небо                    |                   |        |     |     | средние условия облачности |                   |        |     |     | ясное небо                 |                   |        |     |     | средние условия облачности |                   |        |     |     |
|                   | $\bar{S} 10^6$                | T <sub>95%,</sub> | t, час |     |     | $\bar{S} 10^6$             | T <sub>95%,</sub> | t, час |     |     | $\bar{S} 10^6$             | T <sub>95%,</sub> | t, час |     |     | $\bar{S} 10^6$             | T <sub>95%,</sub> | t, час |     |     |
|                   | Дж/м <sup>2</sup>             | час               | 1      | 2   | 3   | Дж/м <sup>2</sup>          | час               | 1      | 2   | 3   | Дж/м <sup>2</sup>          | час               | 1      | 2   | 3   | Дж/м <sup>2</sup>          | час               | 1      | 2   | 3   |
|                   | Июль                          |                   |        |     |     |                            |                   |        |     |     |                            |                   |        |     |     |                            |                   |        |     |     |
| Рудный            | 2,45                          | 12,2              | 6,6    | 5,0 | 3,8 | 1,36                       | 12,8              | 4,2    | 2,6 | 1,5 | 1,23                       | 16,5              | 4,9    | 2,8 | 1,6 | 0,90                       | 15,9              | 3,0    | 1,4 | 0,6 |
| Астана, ГМО       | 2,88                          | 9,5               | 5,6    | 4,5 | 3,5 | 1,67                       | 10,0              | 4,1    | 2,7 | 1,8 | 1,81                       | 14,5              | 6,3    | 4,4 | 2,9 | 1,15                       | 14,2              | 3,9    | 2,2 | 1,2 |
| Уральск, ГМБ      | 2,68                          | 9,9               | 5,6    | 4,4 | 3,4 | 1,59                       | 10,6              | 4,1    | 2,7 | 1,7 | 1,66                       | 15,2              | 6,2    | 4,1 | 2,7 | 0,94                       | 16,2              | 3,3    | 1,6 | 0,8 |
| Жаныбек           | 2,77                          | 10,0              | 5,8    | 4,6 | 3,5 | 1,64                       | 10,8              | 4,3    | 2,9 | 1,9 | 1,79                       | 13,8              | 6,0    | 4,1 | 2,8 | 1,09                       | 15,3              | 3,9    | 2,1 | 1,1 |
| Актау             | 2,62                          | 9,9               | 5,6    | 4,3 | 3,3 | 1,76                       | 10,8              | 4,6    | 3,2 | 2,1 | 1,74                       | 14,2              | 6,0    | 4,1 | 2,7 | 1,15                       | 15,2              | 4,1    | 2,3 | 1,2 |
| Теректы           | 2,88                          | 9,6               | 5,7    | 4,5 | 3,5 | 1,77                       | 10,3              | 4,4    | 3,1 | 2,0 | 1,81                       | 14,8              | 6,4    | 4,5 | 3,0 | 1,13                       | 15,0              | 4,0    | 2,2 | 1,2 |
| Жезказган         | 2,96                          | 9,5               | 5,7    | 4,6 | 3,6 | 1,97                       | 10,2              | 4,8    | 3,4 | 2,4 | 1,88                       | 14,4              | 6,5    | 4,6 | 3,1 | 1,13                       | 15,6              | 4,1    | 2,3 | 1,2 |
| Балхаш, ОГМО      | 2,99                          | 9,7               | 5,9    | 4,7 | 3,7 | 2,16                       | 10,5              | 5,2    | 3,9 | 2,8 | 1,89                       | 14,5              | 6,5    | 4,6 | 3,2 | 1,36                       | 15,5              | 5,1    | 3,2 | 1,9 |
| Семипалатинск, АС | 2,89                          | 9,5               | 5,7    | 4,5 | 3,5 | 1,64                       | 10,4              | 4,2    | 2,8 | 1,8 | 1,84                       | 14,2              | 6,3    | 4,4 | 3,0 | 1,07                       | 15,9              | 3,9    | 2,1 | 1,1 |
| Селезневка        | 2,90                          | 10,1              | 6,0    | 4,8 | 3,8 | 1,67                       | 11,4              | 4,7    | 3,1 | 2,0 | 1,83                       | 15,5              | 6,8    | 4,8 | 3,2 | 1,13                       | 16,0              | 4,3    | 2,4 | 1,3 |
| Приозерный        | 3,07                          | 9,5               | 5,8    | 4,7 | 3,7 | 2,05                       | 10,2              | 4,9    | 3,6 | 2,5 | 1,89                       | 14,8              | 6,7    | 4,7 | 3,2 | 1,32                       | 14,7              | 4,7    | 2,9 | 1,7 |
| Аральское Море    | 2,86                          | 9,8               | 5,8    | 4,6 | 3,6 | 2,14                       | 10,4              | 5,2    | 3,8 | 2,7 | 1,80                       | 14,9              | 6,5    | 4,5 | 3,0 | 1,41                       | 14,8              | 5,1    | 3,2 | 1,9 |
| Айдарлы           | 3,04                          | 9,8               | 6,0    | 4,8 | 3,8 | 2,05                       | 10,4              | 5,0    | 3,6 | 2,6 | 1,96                       | 14,3              | 6,6    | 4,7 | 3,3 | 1,45                       | 15,2              | 5,4    | 3,4 | 2,1 |
| Алматы, ГМО       | 2,79                          | 9,9               | 5,8    | 4,6 | 3,5 | 1,77                       | 11,0              | 4,7    | 3,3 | 2,2 | 1,79                       | 14,9              | 6,4    | 4,5 | 3,0 | 1,15                       | 15,1              | 4,1    | 2,3 | 1,2 |
| Алматы, агро      | 2,89                          | 10,1              | 6,0    | 4,8 | 3,7 | 1,87                       | 10,9              | 4,9    | 3,4 | 2,3 | 1,89                       | 14,6              | 6,6    | 4,6 | 3,2 | 1,15                       | 15,1              | 4,1    | 2,3 | 1,2 |

Летом при более высоком притоке прямой солнечной радиации на нормальную к лучу поверхность влияние облачности на уменьшение величин S<sub>p</sub> сказывается не очень существенно, как в зимний период. Так, на станции Айдарлы суточная величина S<sub>p=80%</sub> равная 24,2 МДж/м<sup>2</sup> при ясном небе незначительно превышает соответствующую величину при средних условиях облачности, которая равна 17,3 МДж/м<sup>2</sup>, т.е. в 1,3 раза. На станции Рудный подобное соотношение составляет 1,7 так как находится в пределах 18,3–10,6 МДж/м<sup>2</sup>.

На основе проведенного анализа потоков солнечной радиации можно сделать вывод, что в пределах территории Казахстана наблюдается достаточно большое число ясных дней во все сезоны года с высоким значением солнечной энергии.

## Районирование территории по условиям обеспеченности гелиоресурсами

Вся территория Казахстана отнесена к приоритетному району, в то время как приток солнечной радиации существенно изменяется во времени и пространстве. В комплекс показателей потенциала солнечной энергии следует включить вероятностные величины притока прямой солнечной радиации за короткие интервалы времени (часы, сутки) с учетом изменчивости погрешности их интерполяции по площади.

Статистический анализ и выявленные закономерности пространственно-временного распределения притока прямой солнечной радиации на различно ориентированные поверхности при динамичном изменении условий облачности в течение дня позволили предложить следующие критерии потенциала солнечной энергии.

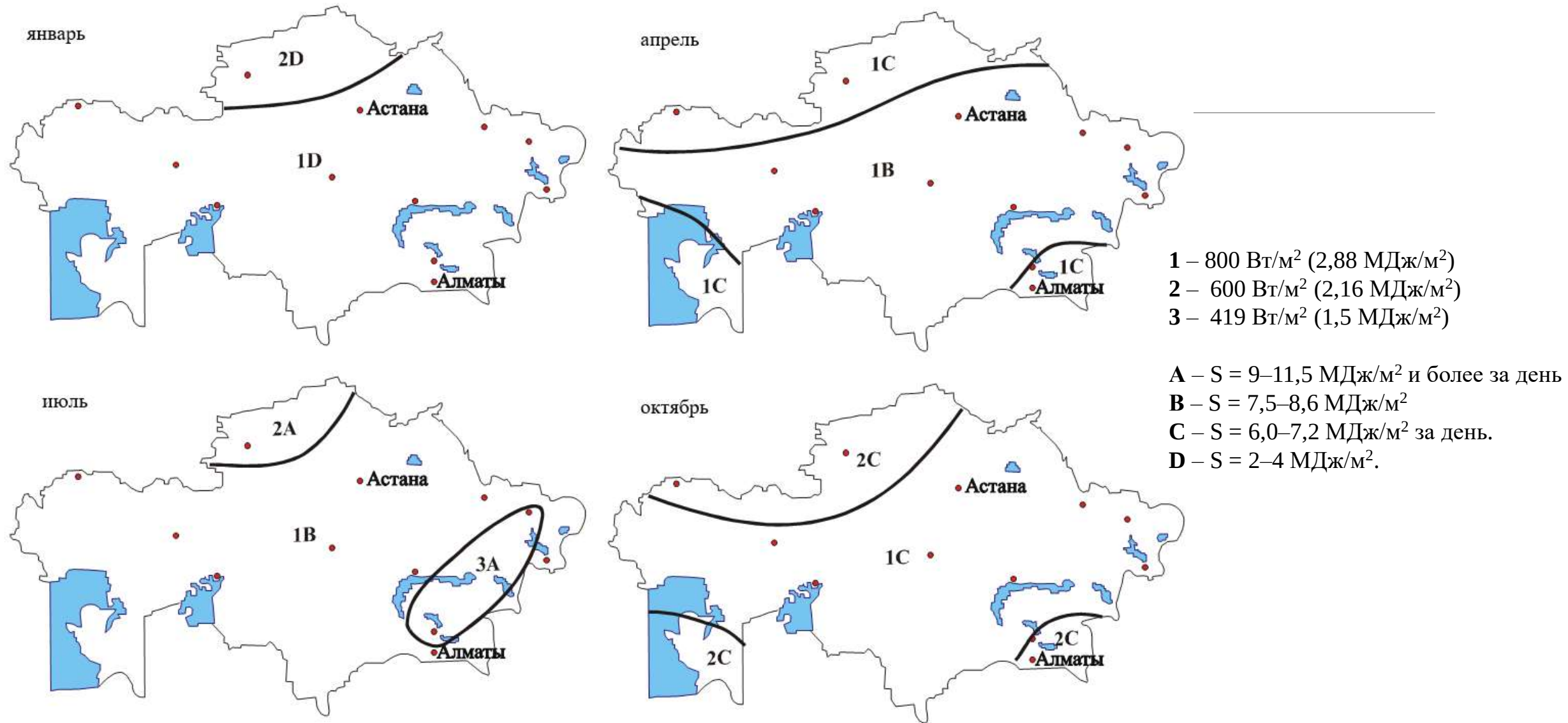
В качестве интенсивности солнечной радиации принято три уровня: 419 Вт/м<sup>2</sup> (1,5 МДж/м<sup>2</sup>), 600 Вт/м<sup>2</sup> (2,16 МДж/м<sup>2</sup>) и 800 Вт/м<sup>2</sup> (2,88 МДж/м<sup>2</sup>).

Суммарная продолжительность (t, час) в течение дня, когда конкретный уровень интенсивности солнечной радиации будет равен или превышен при определенной среднечасовой величине S и продолжительности солнечного сияния 95% обеспеченности ( $T_{p=95\%}$ ).

Значения критериев потенциала солнечной энергии за часовой и суточный интервал времени

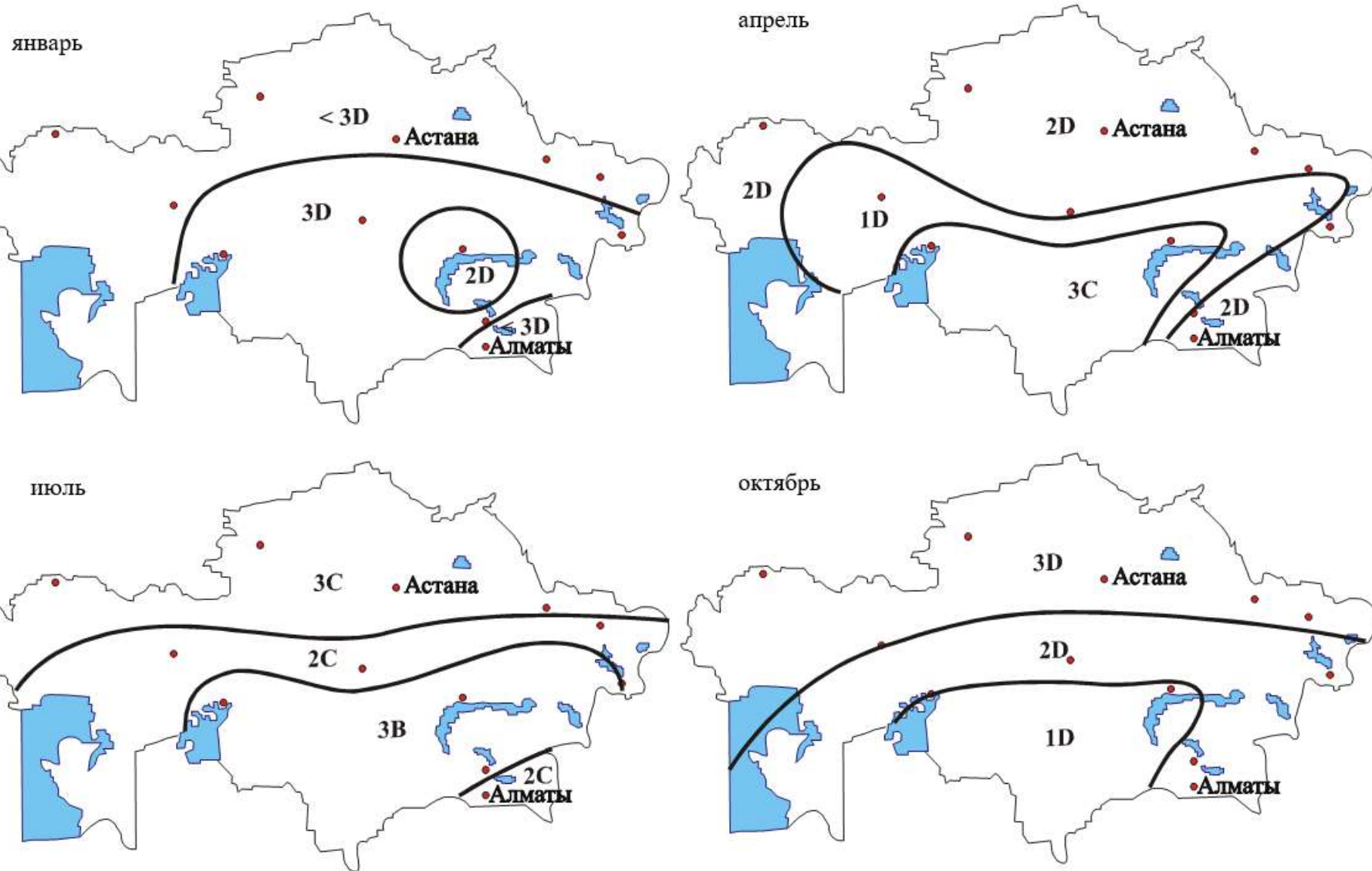
| Приоритет по уровню S                 | Солнечная радиация за час, МДж/ м <sup>2</sup> | Приоритет по t, час |         |         |         |
|---------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------|---------|---------|---------|
|                                       |                                                | A                   | B       | C       | D       |
| 1                                     | 2,88                                           | 4,0                 | 3,0     | 2,5     | 1,5     |
| 2                                     | 2,16                                           | 5,0                 | 4,0     | 3,0     | 1,5     |
| 3                                     | 1,50                                           | 6,0                 | 5,0     | 4,0     | 1,5     |
| Сумма за сутки S, МДж/ м <sup>2</sup> |                                                | 9–11,5 и более      | 7,5–8,6 | 6,0–7,2 | 2,2–4,3 |

# Районирование территории Казахстана по потенциалу солнечной радиации поступающей на нормальную к лучу поверхность при ясном небе





# Районирование территории Казахстана по потенциалу солнечной радиации поступающей на нормальную к лучу поверхность при средних условиях облачности

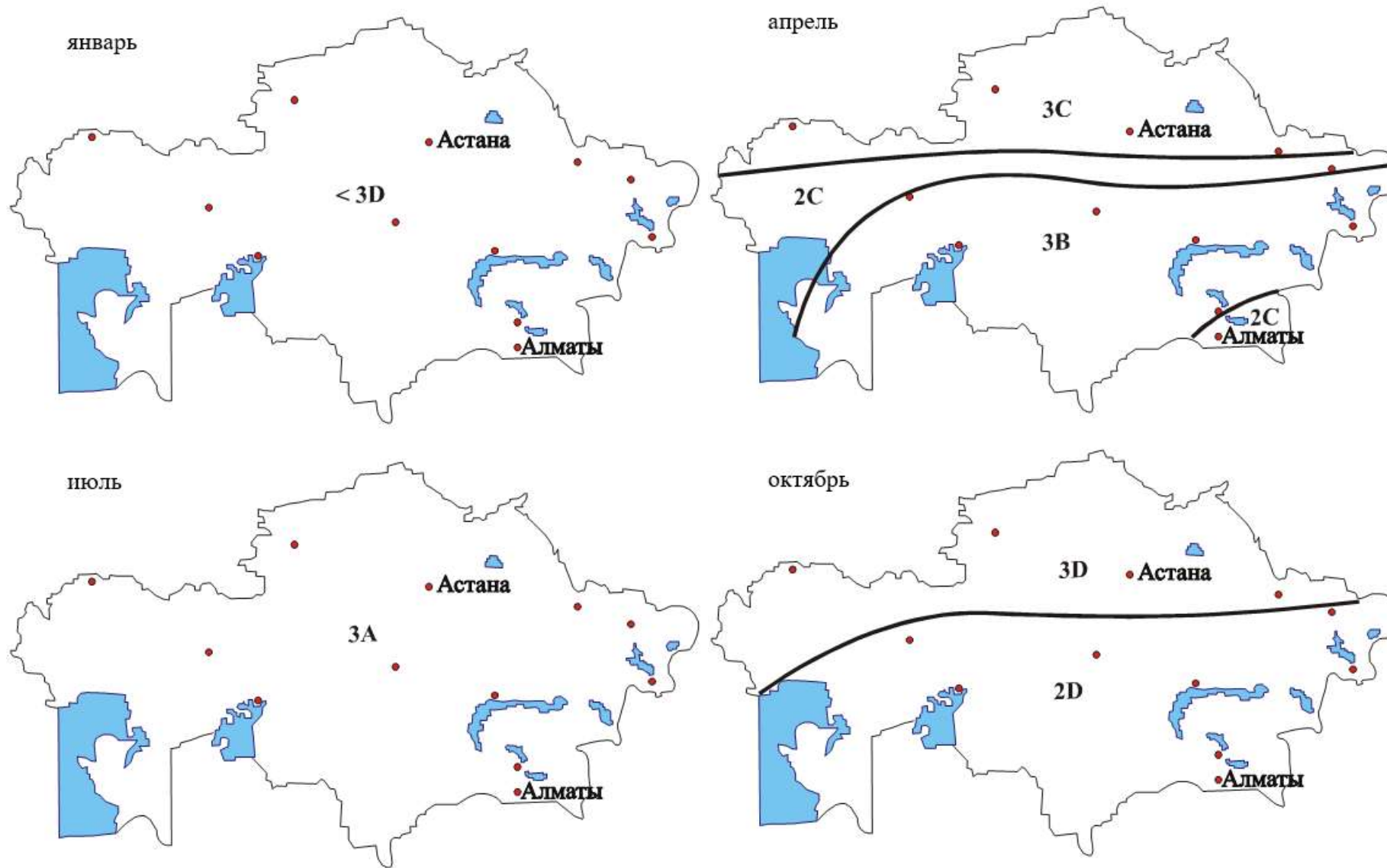


- 1 –  $800 \text{ Вт/м}^2$  ( $2,88 \text{ МДж/м}^2$ )
- 2 –  $600 \text{ Вт/м}^2$  ( $2,16 \text{ МДж/м}^2$ )
- 3 –  $419 \text{ Вт/м}^2$  ( $1,5 \text{ МДж/м}^2$ )

А –  $S = 9-11,5 \text{ МДж/м}^2$  и более за день  
 В –  $S = 7,5-8,6 \text{ МДж/м}^2$   
 С –  $S = 6,0-7,2 \text{ МДж/м}^2$  за день.  
 D –  $S = 2-4 \text{ МДж/м}^2$ .

При средних условиях облачности наблюдается значительное перераспределение гелиоресурсов по территории

# Районирование территории Казахстана по потенциалу солнечной радиации поступающей на горизонтальную поверхность при ясном небе

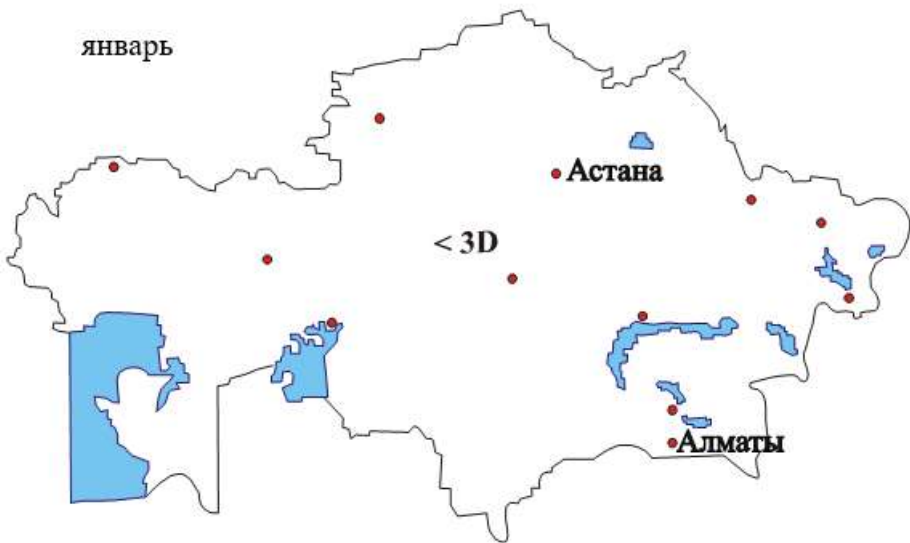


- 1 –  $800 \text{ Вт/м}^2$  ( $2,88 \text{ МДж/м}^2$ )
- 2 –  $600 \text{ Вт/м}^2$  ( $2,16 \text{ МДж/м}^2$ )
- 3 –  $419 \text{ Вт/м}^2$  ( $1,5 \text{ МДж/м}^2$ )

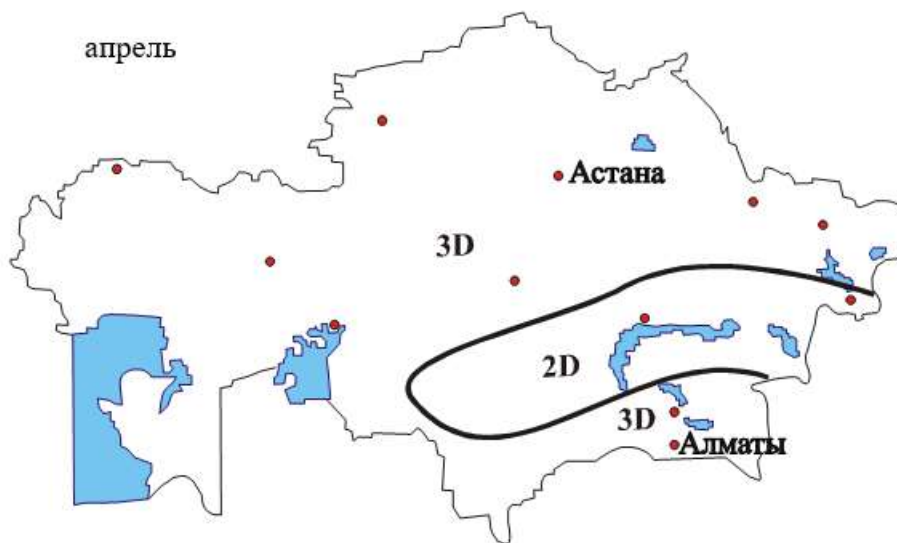
- A –  $S = 9\text{--}11,5 \text{ МДж/м}^2$  и более за день
- B –  $S = 7,5\text{--}8,6 \text{ МДж/м}^2$
- C –  $S = 6,0\text{--}7,2 \text{ МДж/м}^2$  за день.
- D –  $S = 2\text{--}4 \text{ МДж/м}^2$ .

# Районирование территории Казахстана по потенциалу солнечной радиации поступающей на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности

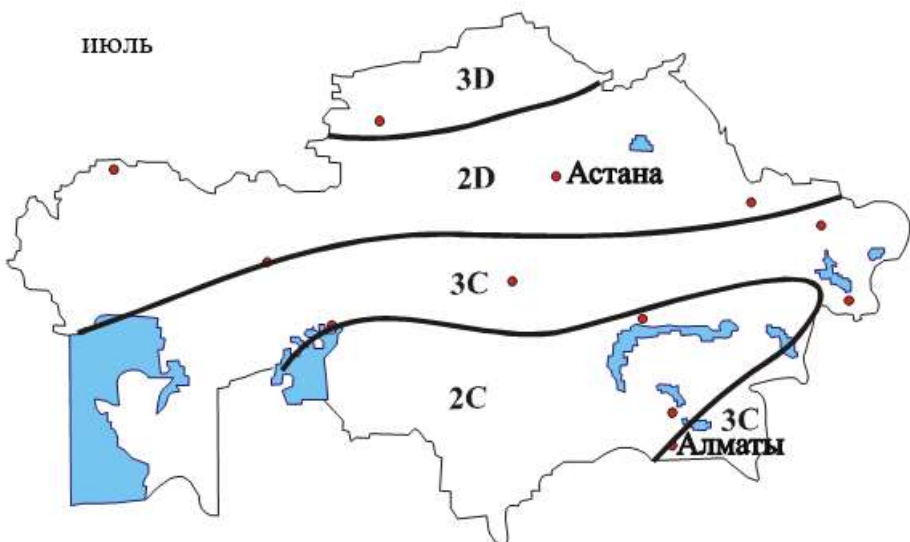
январь



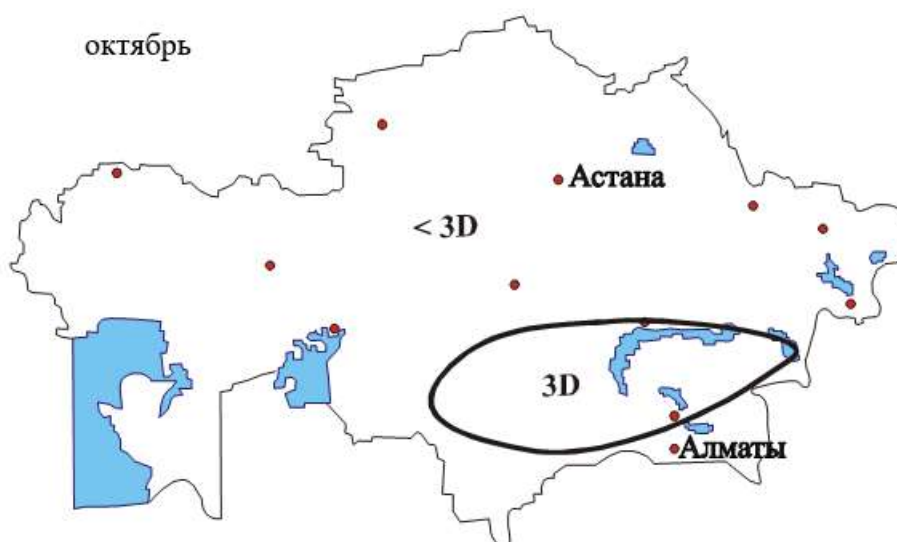
апрель



июль



октябрь



1 –  $800 \text{ Вт/м}^2$  ( $2,88 \text{ МДж/м}^2$ )

2 –  $600 \text{ Вт/м}^2$  ( $2,16 \text{ МДж/м}^2$ )

3 –  $419 \text{ Вт/м}^2$  ( $1,5 \text{ МДж/м}^2$ )

А –  $S = 9-11,5 \text{ МДж/м}^2$  и более за день

В –  $S = 7,5-8,6 \text{ МДж/м}^2$

С –  $S = 6,0-7,2 \text{ МДж/м}^2$  за день.

Д –  $S = 2-4 \text{ МДж/м}^2$ .