

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.  
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра метеорологии и климатологии

**Статистический анализ пространственно-временного  
распределения суммарной солнечной радиации (на примере  
Поволжья)**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 411 группы

направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Нестеровой Юлии Юрьевны

Научный руководитель,

доцент., к.г.н., доцент С.В. Морозова

Зав.кафедрой,

к.г.н., доцент М.Ю. Червяков

Саратов 2022

**Введение.** Изучение изменения современного климата, происходящего при взаимодействии естественных и антропогенных факторов, - одно из важнейших задач современности. Одним из главных факторов, влияющих на региональный и глобальный климат, является изменение составляющих радиационного баланса, в частности приходящей солнечной радиации. К настоящему времени накоплен большой объем сведений об основных закономерностях поступления солнечной радиации, об её роли и различных процессах. Постоянно возрастает требование к прогностическим расчётам составляющих радиационного баланса. Большое практическое значение имеет потенциальных гелиоэнергетических ресурсов в России.

Суммарная солнечная радиация ( $Q$ ) представляет собой совокупность прямой солнечной радиации, поступающей непосредственно от солнца, и рассеянной радиации (лучистой энергии, рассеянной атмосферой и облаками).

Суммарная радиация при безоблачном небе (возможная радиация) зависит от широты места, высоты солнца, характера подстилающей поверхности и прозрачности атмосферы, т.е. от содержания в ней аэрозолей и водяного пара. Увеличение содержания аэрозолей приводит к снижению прямой радиации и увеличению рассеянной. Последнее происходит при увеличении альбедо подстилающей поверхности. Доля рассеянной радиации в суммарной при безоблачном небе составляет 20–25 %.

Распределение по территории России месячных и годовых сумм суммарной радиации при безоблачном небе приведено в таблице в виде осредненных по широте значений.

Во все сезоны года суммы суммарной радиации возрастают с севера на юг в соответствии с изменением высоты солнца. Исключение составляет период с мая по июль, когда сочетание большой продолжительности дня и высоты солнца обеспечивает довольно высокие значения суммарной радиации на севере.

При наличии облачности, суммарная радиация определяется не только количеством и формой облаков, но и состоянием солнечного диска. При открытом солнечном диске, появление облачности приводит к увеличению суммарной радиации вследствие роста рассеянной. В отдельные дни рассеянная радиация может быть сопоставима с прямой. В этих случаях суточный приход суммарной радиации может превосходить радиацию при безоблачном небе.

Существует много работ по изучению суммарной солнечной радиации. Некоторые из них представлены для всей территории России, а некоторые для отдельных её субъектов.

Цель работы состояла в статистическом анализе пространственно-временного распределения суммарной солнечной радиации на территории Поволжья.

Для достижения цели предусмотрены следующие задачи:

- 1) формирование банка исходных данных;
- 2) выявление закономерностей в пространственно - временном распределении суммарной солнечной радиации на исследуемой территории;
- 3) анализ особенностей временной изменчивости суммарной солнечной радиации.

**Основное содержание работы.** Исходными материалами для выполнения исследования послужили средние месячные данные о суммарной солнечной радиации ( $\text{Вт/м}^2$ ) с пространственным разрешением  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ , взятые с сайта [4] за период с 2010 – 2020 гг. Эти материалы представляют собой спутниковые данные проекта «Clouds and Earth's Radiant Energy System» (CERES). CERES представляет собой съемочную систему для изучения влияния облачного покрова на радиационный баланс Земли.

С помощью программы Microsoft Excel были выбраны заданные значения для построения карт распределения суммарной радиации на

территории Поволжья. Осреднение суммарной солнечной радиации проводилось по формуле (2):

$$\bar{x}_{i,j} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{i,j},$$

где  $x_{i,j}$  - значение приземной температуры для заданной широты и долготы,  $n$  – количество лет.

Таким образом, рассчитывались средние многолетние значения суммарной радиации для каждой координатной ячейки. Сначала это были среднее многолетнее распределение суммарной солнечной радиации, затем для каждого из сезонов. Изменчивость средней многолетней суммарной солнечной радиации оценивалась в центральные месяцы сезонов. Зиме соответствовал январь, весне – апрель, лету – июль, осени – октябрь. Стандартное отклонение для каждой координаты рассчитывалось по формуле 3:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}},$$

где  $n$  – количество лет.

Дополнительно были построены карты по минимальным и максимальным значениям за указанный период лет. Такие данные выбирались с помощью встроенной функции Excel.

Такой подход необходим, чтобы на следующем этапе с использованием программы MapInfo Professional провести картирование.

Суммарная солнечная радиация представляет собой совокупность прямой солнечной радиации, поступающей непосредственно от солнца, и рассеянной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность.

Топография является основным фактором, определяющим пространственную изменчивость инсоляции. Изменение высот, ориентация (уклон и экспозиция) влияют на количество инсоляции, полученной в различных местоположениях. Эта изменчивость также меняется с течением времени суток и времени года и, в свою очередь, вносит свой вклад в изменчивость климата отдельных территорий.

Среднее многолетнее значение суммарной радиации за период за период 2010 – 2020 гг. представлено на рисунке 4.2. Как видно на рисунке, максимальные значения наблюдаются в южной части Астраханской области, где значения варьируются от 204,0 до 210 Вт/м<sup>2</sup>. На территории республики Калмыкия среднее многолетнее значение суммарной солнечной радиации составляет 203,9 Вт/м<sup>2</sup>, а минимальное – 176,0 Вт/м<sup>2</sup>. В Волгоградской области средняя многолетняя суммарная радиация принимает значения от 162,0 до 182,9 Вт/м<sup>2</sup>. Максимальное значение суммарной радиации для Саратовской области (169,0 – 175,9) отмечается только в южных её районах. В Пензенской, Ульяновской, Самарской и севере Саратовской областей средняя многолетняя суммарная радиация варьируется от 155,0 до 161,9 Вт/м<sup>2</sup>. Наименьшее значение на территории Поволжского экономического района наблюдаются в республике Татарстан и составляет 141,0 Вт/м<sup>2</sup>.

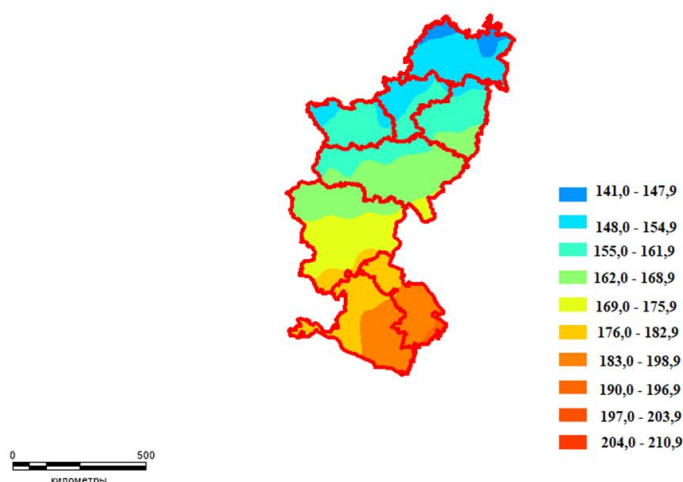


Рисунок 4.2 – Среднее многолетнее значение суммарной солнечной радиации ( $\text{Вт/м}^2$ ) на территории Поволжья (составлено автором)

Средние многолетние значения суммарной за сезон радиации на территории Поволжья за период 2010 – 2020 гг. представлены на рисунке 4.3.

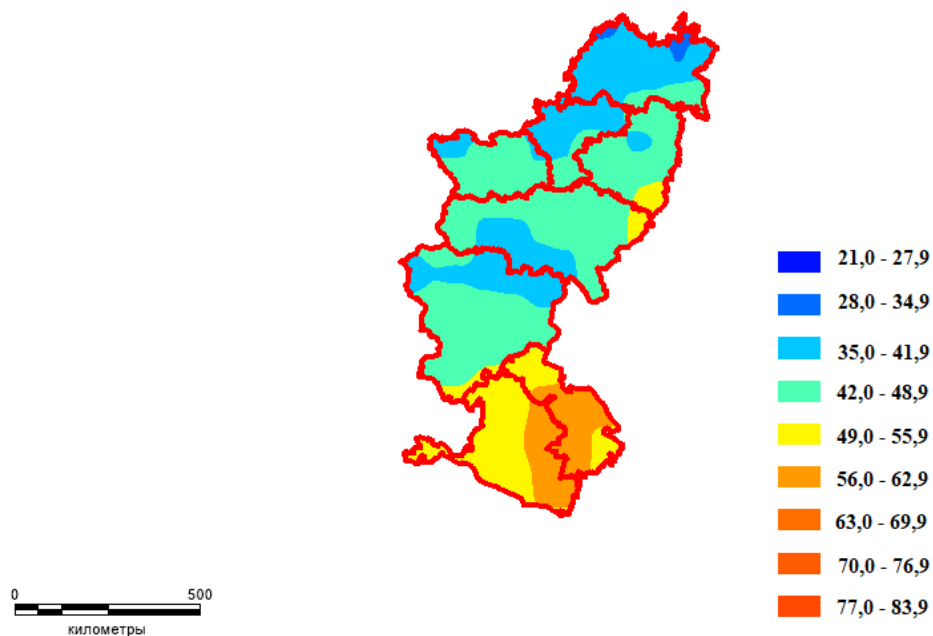
Как видно по рисунку, в зимний сезон распределение средней многолетней суммарной солнечной радиации носит зональный характер. Значения суммарной радиации возрастают с севера на юг – от менее  $21 \text{ Вт/м}^2$  до значений более  $77 \text{ Вт/м}^2$ , которые наблюдаются в Волгоградской области, республике Калмыкия и Астраханской области.

За исключением северо – запада саратовской области и юго – запада республики Татарстан, в этих регионах зимой отмечаются значения от  $49 \text{ Вт/м}^2$  до  $55 \text{ Вт/м}^2$ . От зимы к весне на всей территории Поволжья происходит увеличение суммарной солнечной радиации рис.4.3, наиболее существенное в северо-восточной части Поволжья. В результате на востоке севернее  $55^\circ$  с.ш. формируется очаг со значениями суммарной солнечной радиации более  $277 \text{ Вт/м}^2$ . Такие же значения отмечаются на юге Астраханской области. От весны к лету на большей части территории Поволжья суммарная солнечная радиация продолжает увеличиваться, в наибольшей степени это наблюдается на юге Поволжья.

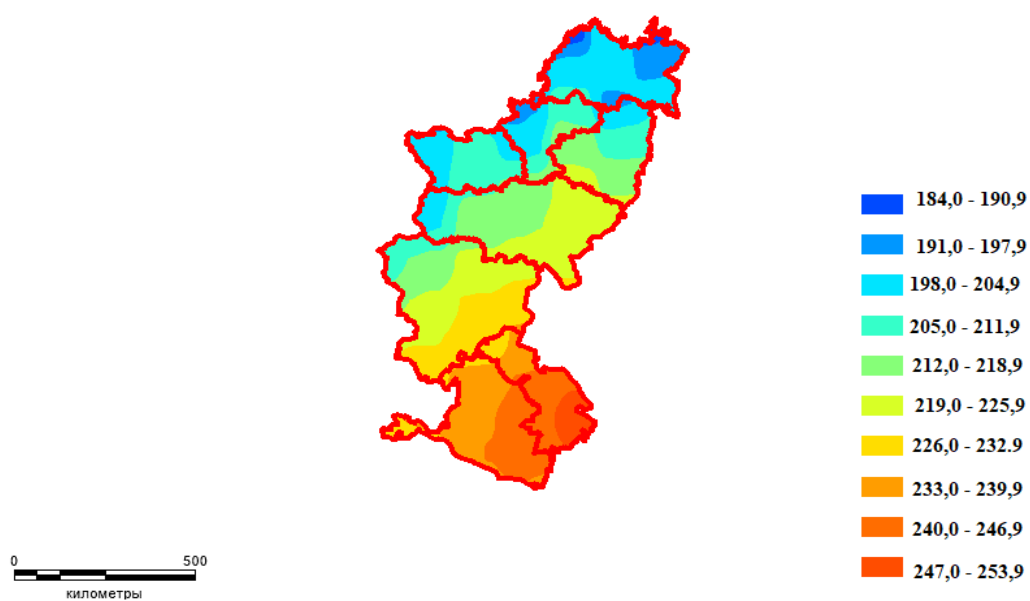
В летний сезон почти на всей территории средняя многолетняя суммарная солнечная радиация составляет более  $254 \text{ Вт/м}^2$ . Очаг наибольших значений (более  $340 \text{ Вт/м}^2$ ) по-прежнему отмечается в Астраханской области. Такие же значения суммарная солнечная радиация принимает и в Волгоградской области.

В осенний сезон практически на всей территории происходит сокращение суммарной солнечной радиации с юга на север. При этом наблюдается возвращение к зональному характеру ее распределения, аналогичному зимнему сезону, но уровень значений на большей части территории на  $50\text{-}100 \text{ Вт/м}^2$  выше по сравнению с зимой.

На всех четырёх картах можно проследить, что значения средней многолетней суммарной радиации меняются от 21,0 до 340,9 Вт/м<sup>2</sup>. Наименьшие значения характерны для зимнего сезона, а наибольшие – для лета.



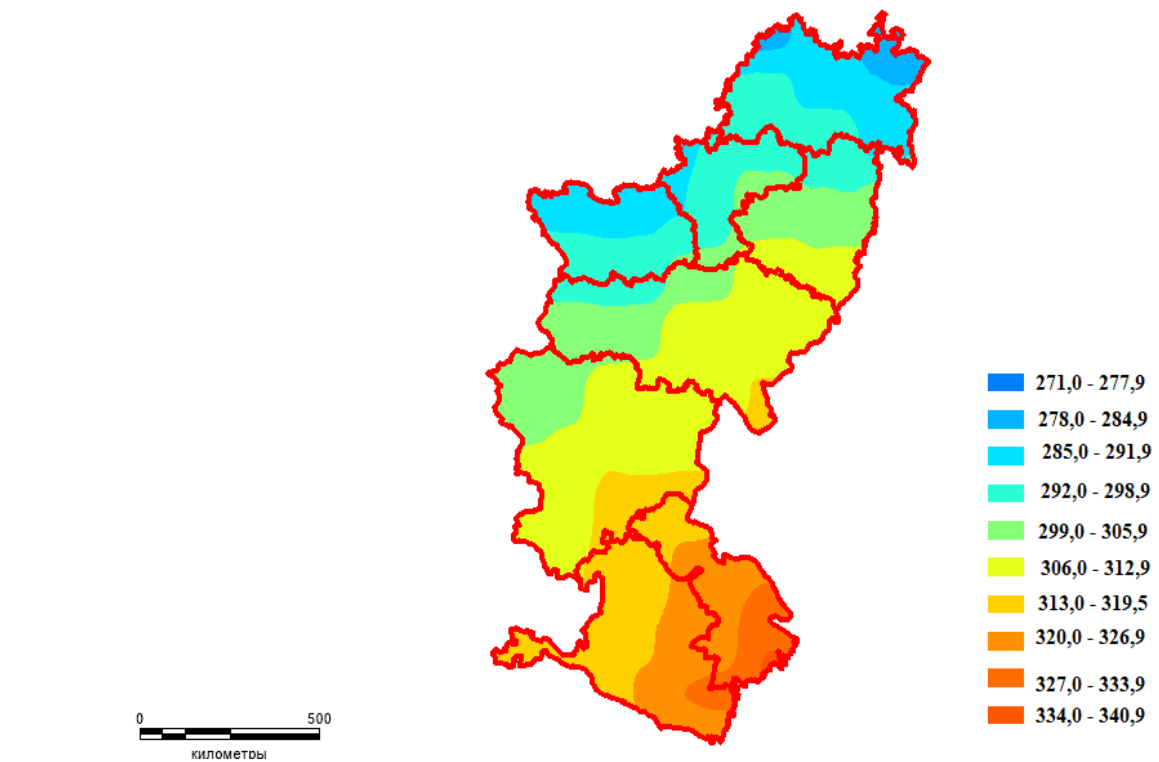
а)



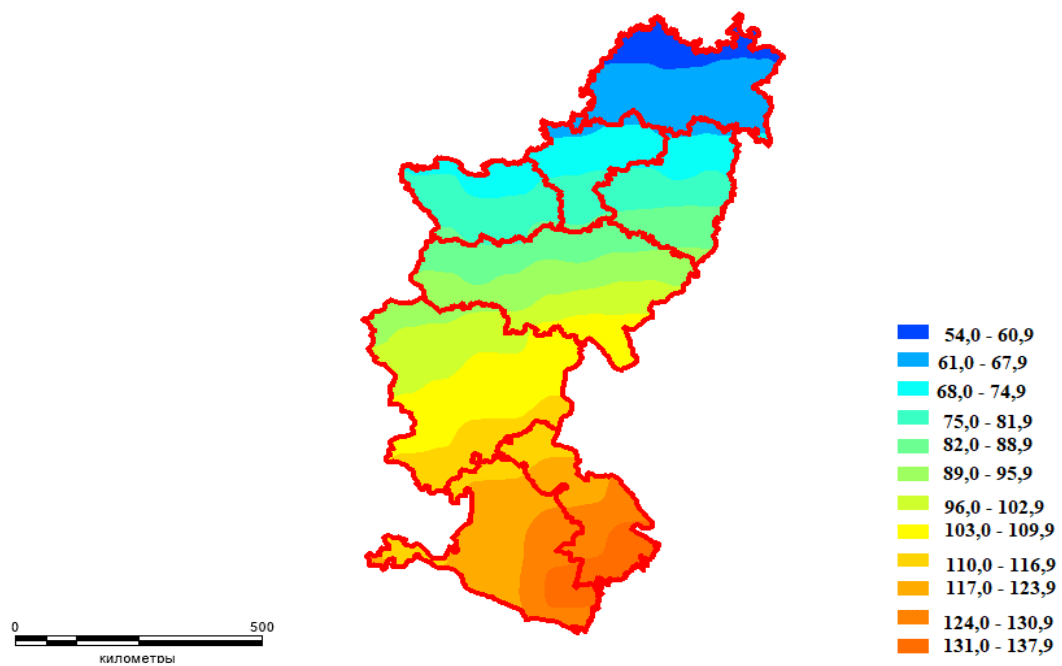
б)

а) январь, б) апрель

Рисунок 4.3 – Средние многолетние значения суммарной за сезон радиации на территории Поволжья (составлено автором)



б)



в)

в) июль, г) октябрь

Рисунок 4.3 – Средние многолетние значения суммарной за сезон радиации на территории Поволжья (составлено автором)

В отдельные годы вследствие процессов образования облачности и циркуляционных факторов могут наблюдаться значительные отклонения суммарной солнечной радиации от средних многолетних значений. В соответствии с рисунком 4.4 представлены оценки стандартного отклонения сезонной суммарной солнечной радиации, характеризующие ее многолетнюю изменчивость.

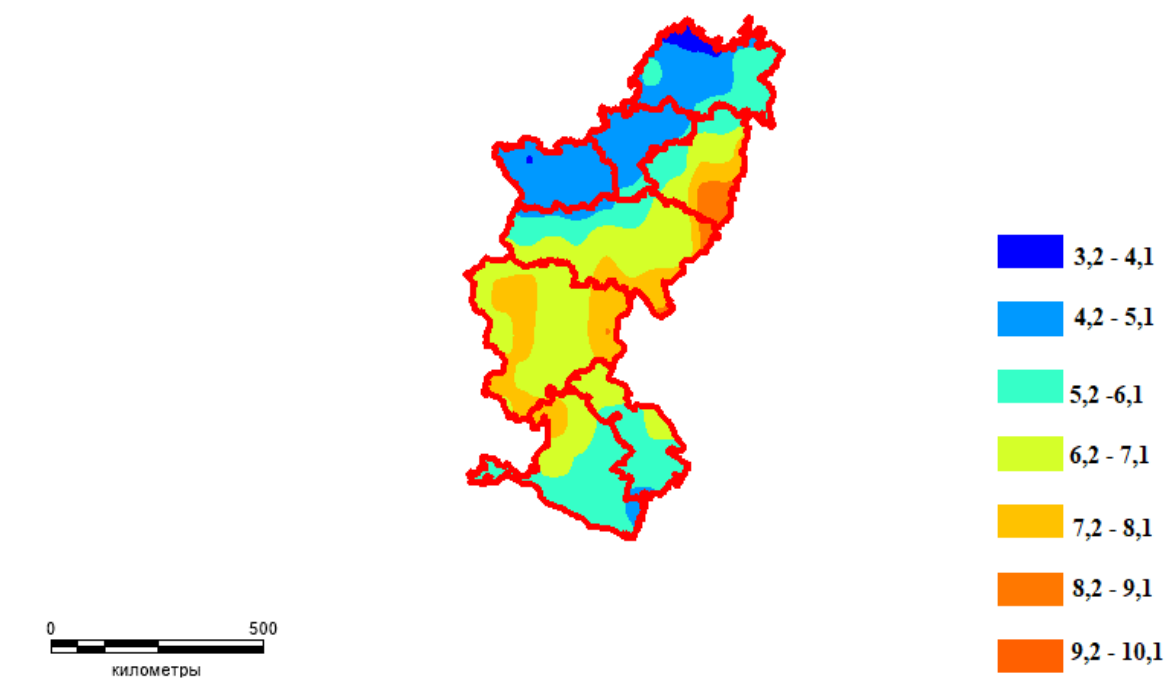
Наименьшая изменчивость суммарной за сезон суммарной солнечной радиации наблюдается зимой – ее значения составляют менее  $4,1 \text{ Вт/м}^2$  на севере и более  $9,2 \text{ Вт/м}^2$  на юге (на отдельных участках до  $10,1 \text{ Вт/м}^2$ ). Минимальные значения стандартного отклонения присущи для Пензенской и Ульяновской областей, а также для республики Татарстан. В Астраханской области и Калмыкии стандартное отклонение принимает значения от  $4,1 - 8,1 \text{ Вт/м}^2$ . В Волгоградской, Саратовской и Самарской областях максимальная изменчивость в зимний период может достигать до  $9,1 \text{ Вт/м}^2$ .

Весной максимальные значения стандартного отклонения отмечаются на юге (до  $32,5 \text{ Вт/м}^2$ ), а именно в Калмыкии и Астраханской области. Минимальные значения охватывают всю центральную часть экономического района (до  $15,9 \text{ Вт/м}^2$ ), захватывая территорию пяти областей.

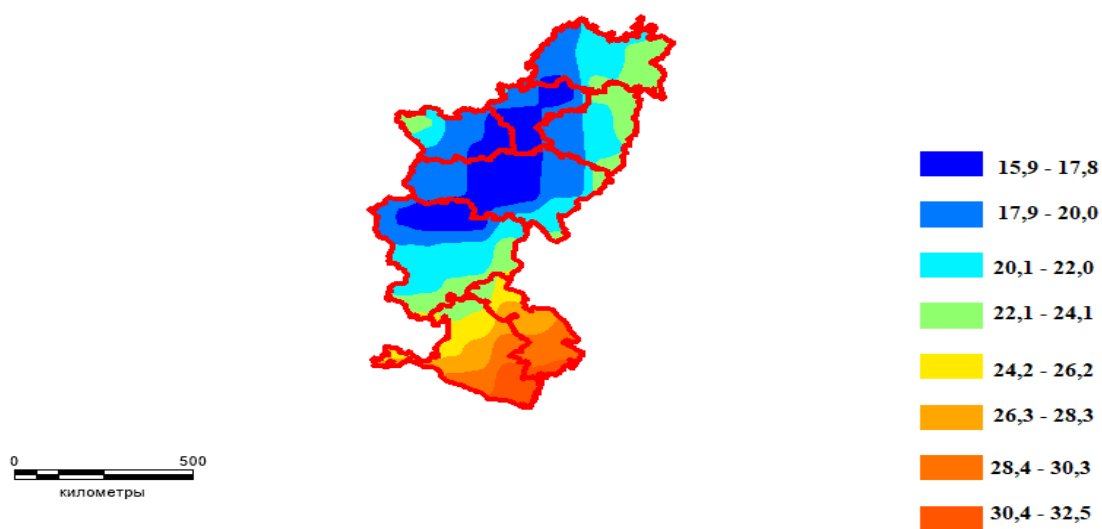
В летний период наблюдается немного другая картина – только на севере Астраханской области стандартное отклонение принимает максимальное значение ( $26,5 \text{ Вт/м}^2$ ). Его наименьшие значения на северо-востоке Саратовской и юге Самарской областей составляют от  $14,8$  до  $17,1 \text{ Вт/м}^2$ .

Несколько схоже распределение стандартного отклонения для осени и весны. Осенью также максимальные значения отмечаются на юге Поволжского экономического района (до  $25,3 \text{ Вт/м}^2$ ), а область минимальных

стандартных отклонений сдвинута на северо-запад, и значения могут достигать до  $10,7 \text{ Вт/м}^2$ .



а)

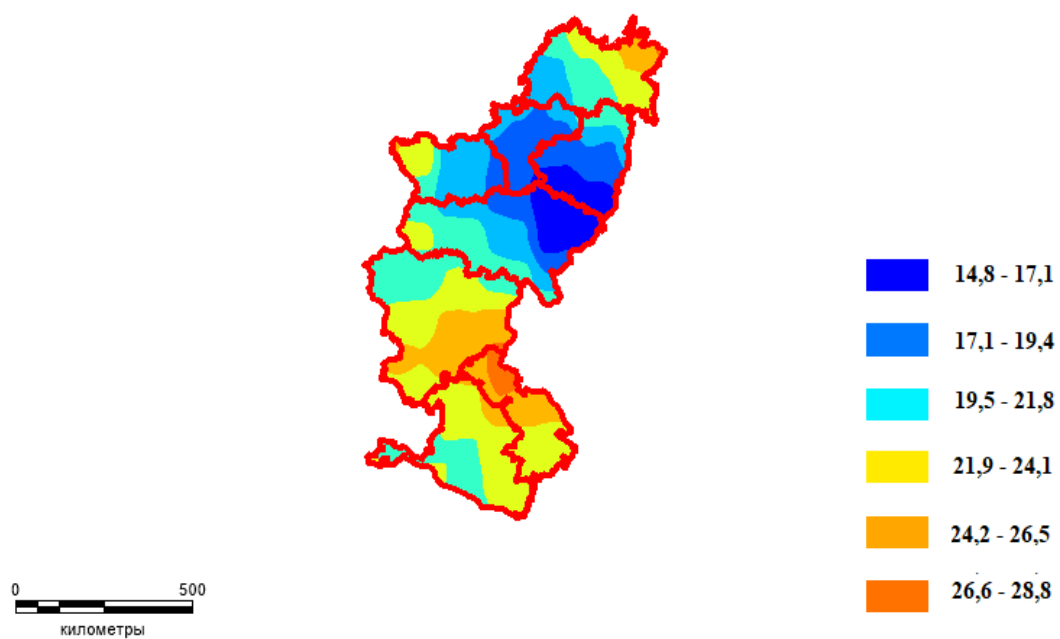


б)

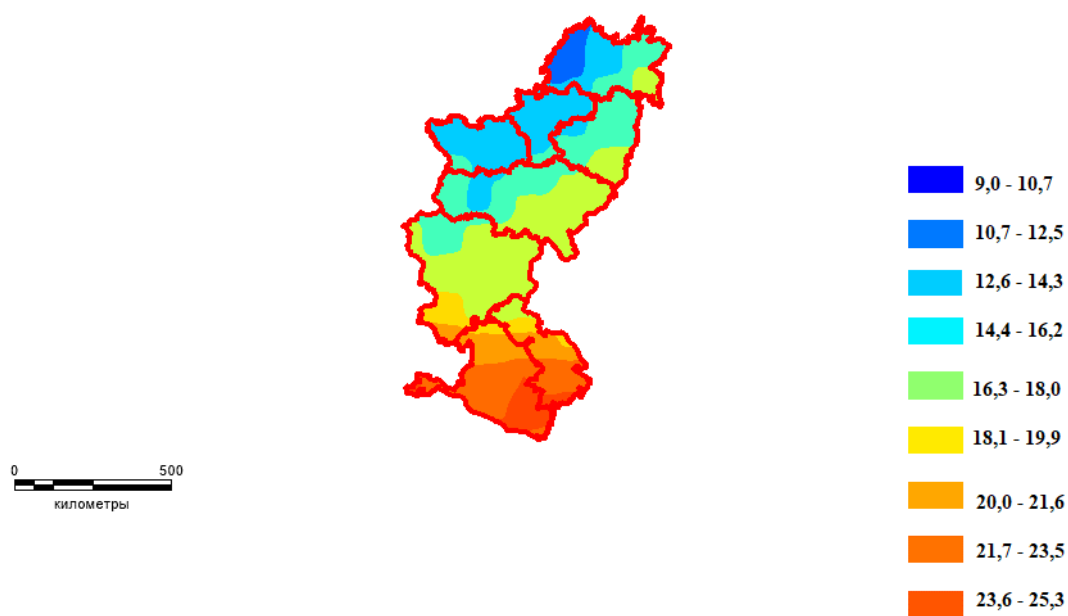
а) январь, б) апрель, в) июль, г) октябрь

Рисунок 4.4 – Стандартные отклонения суммарной за сезон радиации

на территории Поволжья (составлено автором)



в)



г)

в) июль, г) октябрь

Рисунок 4.4 – Стандартные отклонения суммарной за сезон радиации на территории Поволжья (составлено автором)

В полученных картах распределения стандартных отклонений можно заметить, что максимальные значения принимаются весной, а не летом. Но на самом деле в летний период изменчивость была больше. Это объясняется тем, что при построении карт распределения многолетних характеристик «вырезался» прямоугольник с данными, который охватывал не Поволжье, включая и другие территории, не относящиеся к нему.

Поэтому максимальная изменчивость летом ( $34,7 \text{ Вт/м}^2$ ), не вошла в исследуемую территорию. Стоит отметить, что в летней изменчивости только два значения принимали максимальные значения, которые не вошли в исследуемый район.

Значения стандартного отклонения варьируются от 3,2 до  $32,5 \text{ Вт/м}^2$ . В отличие от среднего многолетнего распределения суммарной солнечной радиации, стандартные отклонения не распределяются зонально на территории Поволжья.

По полученным значениям была построена таблица 1. В ней представлены максимальные и минимальные значения сезонной суммарной радиации для каждого из сезонов и года в целом:  $\bar{X}$  – среднее значение,  $S$  – стандартное отклонение,  $X_{\min}$  – минимальное значение,  $X_{\max}$  – максимальное значение.

Таблица 1 – Статистические характеристики суммарной солнечной радиации ( $\text{Вт/м}^2$ ) за сезон на территории Поволжья (составлено автором по данным сайта [4])

| Сезон | $\bar{X}$ |       | S    |      | $X_{\min}$ |       | $X_{\max}$ |       |
|-------|-----------|-------|------|------|------------|-------|------------|-------|
|       | Min       | Max   | Min  | Max  | Min        | Max   | Min        | Max   |
| Зима  | 21,0      | 83,9  | 3,2  | 10,1 | 23,2       | 51,1  | 36,8       | 71,4  |
| Весна | 184,0     | 253,9 | 15,9 | 32,5 | 145,0      | 194,9 | 214,4      | 320,5 |
| Лето  | 271,0     | 340,9 | 14,8 | 28,8 | 220,0      | 299,9 | 309,2      | 392,4 |
| Осень | 54,0      | 137,9 | 9,0  | 25,3 | 21,6       | 85,2  | 65,0       | 169,9 |
| Год   | 530,0     | 816,6 | 42,9 | 96,7 | 409,8      | 631,1 | 625,4      | 954,2 |

**Закключение.** Выполненное районирование исследуемой территории с использованием программы MapInfo Professional на основе спутниковых данных, позволило дифференцировать Поволжье по особенностям распределения суммарной солнечной радиации.

Анализ распределения средних месячных максимумов суммарной солнечной радиации по территории Поволжья даёт чёткую картину зависимости от широты - возрастание с севера на юг, а также имеет широтное распределение. От весны к лету на большей части территории Поволжья суммарная солнечная радиация продолжает увеличиваться, в наибольшей степени это наблюдается на юге Поволжья. В осенний сезон практически на всей территории происходит сокращение суммарной солнечной радиации с юга на север. При этом наблюдается возвращение к зональному характеру ее распределения, аналогичному зимнему сезону, но уровень значений на большей части территории на 50-100 Вт/м<sup>2</sup> выше по сравнению с зимой. Но эта зависимость верна для горизонтальной поверхности, и даже для нее может нарушаться из-за влияния особенностей местной циркуляции атмосферы и структуры облачности. Выполненный анализ данных NASA SEE для территории Поволжья показал возможность использования данных для описания среднего многолетнего распределения суммарной солнечной радиации.

Если рассматривать детальный анализ режима суммарной солнечной радиации на территории Поволжья, выполненный на основе карт распределения средних многолетних значений по месяцам и за год, позволил

выявить особенности структуры и динамики поля исследуемых показателей в годовом ходе, обусловленном рациональным увеличением показателей с севера на юг, юго- восток.

Представленный материал, включая электронную базу данных, ориентирован на широкий круг специалистов, в том числе студентов и аспирантов географических факультетов ВУЗов, а также представляет практический интерес для архитекторов и специалистов в области строительной теплофизики.