

СОДЕРЖАНИЕ

	л
Введение	3
1 Методы и средства получения информации о составляющих радиационного баланса земной поверхности	5
1.1 Виды солнечной радиации	5
1.2 Наземные актинометрические методы измерений	9
1.3 Спутниковые методы измерений составляющих радиационного баланса земной поверхности	9
2 Пространственно-временные вариации суммарной солнечной радиации в Нижнем Поволжье	12
2.1 Анализ данных ГГО и сравнение с данными спутникового проекта CERES	12
2.2 Изменчивость суммарной радиации в городах Нижнего Поволжья	16
2.3 Пространственно-временные вариации суммарной радиации по данным проекта CERES на территории Саратовской области	19
2.4 Особенности суточного режима солнечной радиации в Саратове	23
3 Сравнение продолжительности солнечного сияния по данным ВНИИГМИ-МЦД и облачного покрытия (Cloud Fraction) по данным спутника NASA Terra	26
3.1 Получение архивных среднемесячных значений Cloud Fraction по данным спутника NASA Terra	26
3.2 Получение архивных среднемесячных значений продолжительности солнечного сияния по данным ВНИИГМИ-МЦД	27
4 Анализ карт многолетних средних значений суммарной солнечной радиации на территории Саратовской области с 2007 по 2019 гг	33
Заключение	35
Список использованных источников	37
Приложение А	40
Приложение Б	45

Приложение В	45
Приложение Г	50
Приложение Д	53

ВВЕДЕНИЕ

Возобновляемые источники энергии – это действующие в окружающей среде источники энергии, которые не являются следствием целенаправленной деятельности человека. К этим источникам относятся: энергия ветра, энергия приливов и отливов, энергия земных недр и энергия солнца. Солнечная энергетика в России существует только в виде небольших установок автономного энергоснабжения. Гелиоэнергетика должна ориентироваться, в первую очередь, на метеорологические и климатические условия, учитывая их особенности. К основным показателям, учитываемым при установке солнечных электростанций и панелей, служат данные о временных и пространственных вариациях потоков солнечной радиации [1].

Основной задачей данной работы является изучение методов и средств измерения потоков солнечной радиации, оценка радиационного режима территории Нижнего Поволжья, а также выявление территорий благоприятных для развития гелиоэнергетики.

Эффективность применения гелиоэнергетических устройств зависит от качественных, надежных данных о параметрах солнечного излучения. Различные солнечные энергосистемы – фотоэлектрические или тепловые – требуют различных типов данных, но в любом случае эти данные должны быть объективными, точными, отражать возможные вариации солнечного излучения во времени и пространстве. Анализ климатических условий расположения объектов гелиоэнергетики предполагает исследование особенностей пространственного и временного распределения солнечной энергии в месте планируемой эксплуатации гелиоэнергетических устройств и определение необходимых условий и характеристик оптимального режима их функционирования [2].

Для характеристики, поступающей на территорию солнечной радиации, используются следующие показатели: среднемесячные значения прямой, рассеянной, суммарной радиации, их суммы и изменчивость в

разные временные интервалы в условиях ясного и пасмурного неба. К важным климатическим характеристикам также относятся: продолжительность солнечного сияния, его изменчивость, непрерывная продолжительность солнечного сияния выше указанного уровня, число дней без солнца, повторяемость облачности разных градаций. На основе этих показателей получают максимальную (при условии ясного неба) и фактическую (средние условия облачности) плотность солнечной энергии, потенциальные гелиоресурсы, принципиально доступные для практического использования, оптимальные углы наклона, которые обеспечивают максимальный поток солнечного излучения на принимающую поверхность гелиоустановки, показатели непрерывной продолжительности солнечного сияния (более 6 часов), обеспечивающие эффективную работу гелиоустановки. Наличие такой климатической информации позволяет выполнить достаточно детальный анализ влияния реальных местных климатических условий на работу солнечных установок [2].

В данной работе обсуждаются вопросы оценки климатических условий для решения задач солнечной энергетики, особенности пространственно-временного распределения показателей режима излучения на территории Нижнего Поволжья на примере городов: Самара, Саратов, Волгоград, Астрахань и в более подробный анализ для территории Саратовской области по данным актинометрических станций и данных спутникового проекта CERES (NASA). В качестве основных показателей рассматриваются прямая, рассеянная и суммарная солнечная радиация. На основе многолетних данных для Нижнего Поволжья исследована их сезонная и территориальная изменчивость [2].

1 Методы и средства получения информации о составляющих радиационного баланса земной поверхности

1.1 Виды солнечной радиации

Потоки электромагнитного излучения, приходящие к поверхности Земли и уходящие от нее, являются наиболее важными переменными составляющими теплового баланса Земли в целом и каждого отдельного места на земной поверхности и в атмосфере. На практике наиболее часто измеряют энергетическую освещенность, создаваемую радиационными потоками, которую в метеорологии принято называть «радиацией» или «лучистой энергией». Именно солнечная радиация является главнейшим видом энергии на Земле, которая имеет важнейшее значение для развития жизни на ней. Она является основной причиной почти всех метеорологических явлений и процессов, происходящих на земной поверхности и в атмосфере.

Лучистая энергия представляет собой электромагнитные волны, распространяющиеся от источника их возникновения. В зависимости от температуры излучающего тела и физико-химических свойств его поверхности длина волны колеблется в очень широких пределах. Распределение лучистой энергии по длинам волн называется спектром.

Часть спектра, которая соответствует длинам волн менее 0,4 мкм, называется ультрафиолетовой. Промежуток спектра лучистой энергии от 0,4 до 0,76 мкм занимает видимая часть спектра. Волны длиной от 0,4 до 0,46 мкм соответствуют фиолетовому цвету, от 0,46 до 0,49 мкм – синему, от 0,49 до 0,5 мкм – голубому, и т. д. Излучение с длиной волны более 0,76 мкм относится к так называемой инфракрасной части спектра. Инфракрасные лучи, как и ультрафиолетовые, не воспринимаются глазом – они невидимы. Спектр солнечной энергии на верхней границе атмосферы заключается между длинами волн от 0,2 до 5, мкм (иногда от 0,3 до 4 мкм). Около 47 %

радиации приходится на видимую часть спектра, 44 % - на инфракрасную часть спектра и 9 % - на ультрафиолетовую часть [3]. Проходя земную атмосферу, солнечная радиация изменяется как по интенсивности, так и по спектральному составу.

Поступая на Землю, солнечная радиация в большей своей части превращается в тепло. Количество энергии, посылаемой Солнцем на Землю, огромно. Испускание или распространение электромагнитных волн называется излучением. Энергией излучения или лучистой энергией называют энергию, переносимую электромагнитными волнами. Единицей энергии излучения W в международной системе единиц СИ является один джоуль: $[W] = 1 \text{ Дж}$.

Основной количественной характеристикой поля излучения служит поток излучения или лучистый поток Φ_0 , который определяется формулой:

$$\Phi_0 = W/t \quad (1.1)$$

где W – энергия излучения за время t . Полагая $W = 1 \text{ Дж}$, $t=1 \text{ с}$, получим: $[\Phi_0] = 1 \text{ Дж}/1 \text{ сек} = 1 \text{ Вт}$.

Поверхностная плотность потока излучения, или поток радиации, или иначе энергетическая освещенность устанавливается на основании формулы:

$$E_0 = \Phi_0/S \quad (1.2)$$

где Φ_0 – поток излучения, равномерно падающий на поверхность S . Полагая $\Phi_0=1 \text{ Вт}$, $S=1 \text{ м}^2$, находим: $[E_0] = 1 \text{ Вт}/1 \text{ м}^2 = 1 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

В метеорологии под термином солнечная радиация понимают энергетическую освещенность, создаваемую излучением, проходящим от Солнца, включая излучение, рассеянное земной атмосферой и облаками и отражение земной поверхностью.

Решение многих жизненно важных проблем на Земле связано с точным знанием величины солнечной радиации. Энергетическая освещенность, создаваемая солнечным излучением на площадке, расположенной перпендикулярно к солнечным лучам, за пределами земной атмосферы при среднем расстоянии между Землей и Солнцем, называется солнечной

постоянной S_0 [4].

Прежде чем достигнуть земной поверхности, солнечная радиация проходит через атмосферу и претерпевает в ней некоторые изменения: частично она поглощается воздухом и частично рассеивается. Поглощается солнечная радиация в основном водяными парами, аэрозолями и в меньшей степени углекислым газом, и озоном.

В метеорологии потоки лучистой энергии подразделяется на коротковолновую радиацию с длинами волн от 0,2 до 5 мкм (иногда 0,3-4 мкм) и длинноволновую радиацию с длинами волн от 5 до 100 мкм [4]. Потоки коротковолновой радиации подразделяются на прямую, рассеянную и отраженную, и имеют солнечное происхождение.

Радиация, поступившая к земной поверхности непосредственно от Солнца и околосолнечной зоны радиусом 5° , называется прямой солнечной радиацией [4]. Прямая радиация измеряется на поверхности, перпендикулярной направлению солнечных лучей, и обозначается S . Прямая радиация, приходящая на горизонтальную поверхность S' , вычисляется по формуле:

$$S' = S \sin h_{\odot} \quad (1.3)$$

где h_{\odot} – высота солнца над горизонтом.

Проходя сквозь атмосферу, солнечная радиация рассеивается в оптически неоднородной среде атмосферными газами и аэрозольными примесями, имеющими различные коэффициенты преломления, и переходит в особую форму – рассеянную радиацию.

Рассеянной солнечной радиацией D называется радиация, поступающая на горизонтальную поверхность от всех точек небесного свода, за исключением диска Солнца и околосолнечной зоны радиусом 5° , в результате рассеяния солнечной радиации молекулами атмосферных газов, водяными каплями или ледяными кристаллами облаков и твердыми частицами, взвешенными в атмосфере [4,5].

Общий приход прямой рассеянной радиации к горизонтальной

поверхности земли называется суммарной радиацией Q :

$$Q = S' + D \quad (1.4)$$

Дошедшая до земной поверхности суммарная радиация в большей своей части поглощается в верхнем, тонком слое почвы или воды и переходит в тепло, а частично отражается.

Отражение солнечной радиации земной поверхностью зависит от характера этой поверхности. Отношение количества отраженной радиации (R_k) к общему количеству радиации (Q), падающей на данную поверхность, называется альбедо (A) поверхности [4,5]. Это отношение выражается в долях единицы или процентах:

$$A = \frac{R_k}{Q} 100\% \quad (1.5)$$

В отличие от коротковолновых потоков прямой, рассеянной и отраженной радиации, тепловое излучение земной поверхности и атмосферы приходится на невидимую инфракрасную часть спектра. Излучение земной поверхности и атмосферы принято называть длинноволновыми.

Длина волны земного излучения колеблется в пределах от 5 до 40 мкм и более. Земную радиацию чаще называют собственным излучением земной поверхности (E_3). Атмосферную радиацию, приходящую к земной поверхности, называют встречным излучением или противоизлучением (E_a) атмосферы. Разность между собственным излучением земной поверхности и встречным излучением атмосферы называют эффективным излучением ($E_{эф}$):

$$E_{эф} = E_3 - E_a \quad (1.6)$$

Раздел геофизики, в котором изучается энергия, излучаемая Солнцем, поверхностью Земли и атмосферой, и ее преобразования, называется актинометрией, а приборы для измерения различных видов радиации – актинометрическими [5-9].

1.2 Наземные актинометрические методы измерений

В актинометрических приборах, используемых на сети метеорологических станций, в качестве чувствительных элементов используют термоэлементы, с помощью которых энергия солнечных лучей преобразуется в энергию электрического тока. Термоэлектрический эффект заключается в том, что при нагреве места соединения (спая) двух разнородных проводников в замкнутой цепи, составленной из этих проводников, возникает электрический ток, или термоЭДС. Один такой элемент, состоящий из двух разнородных проводников, называют термопарой. Этот принцип и заложен в основу всех сетевых актинометрических приборов. Для получения надежных результатов необходимо, чтобы электрический сигнал с любого из актинометрических приборов, возникающий в результате преобразования лучистой энергии был достаточно велик для фиксирования каким-либо электрическим регистром, например, гальванометром. Однако электродвижущая сила, развиваемая одной термопарой, невелика, и поэтому для увеличения выходного сигнала с актинометрических приборов используются ряд последовательно соединенных между собой термопар, которые образуют термобатарею.

Актинометрические наблюдения проводятся в сроки 0 ч 30 мин, 6 ч 30 мин, 9 ч 30 мин, 12 ч 30 мин, 15 ч 30 мин и 18 ч 30 мин по среднему солнечному времени [5-10].

1.3 Спутниковые методы измерений составляющих радиационного баланса земной поверхности

Современные глобальные и региональные изменения, происходящие в климатической системе, требуют оценки пространственно-временной изменчивости основных климатообразующих факторов и, в частности, радиационного баланса подстилающей поверхности. Измерение

радиационного баланса входило в программу основных наблюдений сетевых актинометрических станций СССР, а в дальнейшем России. Плотность актинометрической сети изначально была недостаточна для освещения всех регионов. В настоящее время актинометрическая сеть Росгидромета уменьшилась и работает по трем программам наблюдений: непрерывные круглосуточные измерения пяти видов радиации, срочные наблюдения и измерения суточных сумм суммарной радиации. В последние десятилетия на многих станциях в связи с состоянием приборной базы прекратились наблюдения за радиационным балансом (РБ). Изучение географических закономерностей распределения РБ и его климатических изменений стало невозможным по материалам непосредственных актинометрических наблюдений, требуется применение иных подходов. Большие возможности обеспечения надежной информацией в регионах, где наземные измерения редки или вовсе отсутствуют, открываются в связи с использованием спутниковых данных. Сохранить многолетние ряды значений РБ в пунктах, где закончились его непосредственные измерения, но ведутся наблюдения за другими радиационными характеристиками, возможно с помощью расчетных методов [4,11].

На географическом факультете Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского продолжают исследования составляющих радиационного баланса Земли (РБЗ) на основе данных, получаемых с российских гидрометеорологических космических аппаратов нового поколения. На сегодняшний момент успешно работают два прибора, сконструированные профессором Ю. А. Складовым (1931–2014): ИКОР-М (Измеритель коротковолновой отраженной радиации), установленный на борту гелиосинхронного ИСЗ «Метеор-М» № 2, и ИСП-2М (Измеритель солнечной постоянной) – на борту геостационарного ИСЗ «Электро-Л». Результаты спутниковых измерений сначала поступают в Научный центр оперативного мониторинга Земли, г. Москва (НЦОМЗ), затем в Лабораторию исследования составляющих радиационного баланса Земли

СГУ. За годы работы измерителей собран большой массив данных по отдельным элементам РБЗ, который позволил провести ряд исследований изменчивости земной климатической системы [12-14].

Существенно дополняют наблюдения наземной сети спутниковые данные, но их усвоение и обработка могут представлять проблему для пользователей. Большие возможности оценки радиационных характеристик и их пространственной изменчивости открываются в связи с разработкой и предоставлением в открытом доступе базы данных NASA POWER (NASA Prediction of Worldwide Energy Resource Project) Национального агентства по авиации и исследованию космического пространства США, адаптированной для расчетов солнечной энергии. Этот проект стал продолжением проекта NASA SSE (NASA Surface Meteorology and Solar Energy) [15,16], а также данные другого спутникового проекта NASA - CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) [17]. Все результаты перерасчитываются на сетку $1^\circ \times 1^\circ$ с использованием разных способов пространственного осреднения. Отработка и апробация методики пересчета осуществлялись с привлечением данных наземных измерений на сети Baseline Surface Radiation Network. Подробное описание ее данных и результатов приведено в сопутствующих документах NASA POWER и NASA SSE [15,16].

В базе данных NASA CERES приведены средние суточные и среднемесячные величины приходящей суммарной солнечной радиации у поверхности земли с пространственным разрешением $1,25^\circ \times 1,25^\circ$ с 2007 г.

2 Пространственно-временные вариации суммарной солнечной радиации в Нижнем Поволжье

2.1 Анализ данных ГГО и сравнение с данными спутникового проекта CERES

Наиболее полные архивы данных актинометрических наблюдений сосредоточены в мировых радиационных центрах ВМО. Один из крупнейших центров расположен в Главной геофизической обсерватории им. Воейкова. Данный центр аккумулирует актинометрическую информацию, которая включает характеристики потоков солнечной радиации на сети актинометрических станций Африки, Евразии, в том числе России. Ежегодно на сайте Мирового радиационного центра данных ГГО публикуется бюллетени, содержащие информацию о прямой и рассеянной солнечной радиации по станциям [18].

В данной работе были использованы массивы измерений по станции Самара, которая является единственной станцией в Нижнем Поволжье, архив с которой опубликован в бюллетенях. Эти данные были использованы для анализа временной изменчивости составляющих радиационного баланса земной поверхности и сопоставления со спутниковыми данными проекта CERES [17]. Также для репрезентативности спутниковых данных использовались массивы информации со станции Петропавловск-Камчатский. В работе проведено сравнение среднемесячных значений суммарной солнечной радиации по данным архива ГГО, представленных в БД Мирового радиационного центра и данным проекта CERES за период с 2007 по 2018 гг.

Первоначально для наиболее оптимального анализа суммарной солнечной радиации по проекту CERES данные ГГО были приведены в единицы измерения проекта CERES – Вт/м².

На рисунке 2.1 в качестве примера представлено сопоставление данных актинометрических измерений на станции Самара и спутниковых измерений проекта CERES. Видна хорошая согласованность рассматриваемых величин. Аналогичный график построен для города Петропавловск-Камчатский, изображенный на рисунке 2.3.



Рисунок 2.1 – Временной ход суммарной солнечной радиации у поверхности земли в Самаре по данным актинометрических станций и спутниковых измерений NASA (Aqua) за период 2012 – 2017 (составлено автором)

Для привязки значений проекта CERES к данным актинометрических станций были построены корреляционные диаграммы для Самары и Петропавловска-Камчатского представленные на рисунках 2.2 и 2.4. Выведены уравнения взаимосвязи данных рядов по суммарной солнечной радиации по актинометрическим станциям и спутниковым измерениям. Это позволило сделать вывод о том, что данные актинометрических станций хорошо восстанавливаются по спутниковой информации.

Также была проведена процедура оценки корреляционной зависимости между рядами наземных данных со спутниковыми. Для Самара коэффициент корреляции составил 0,99, а для Петропавловска-Камчатского 0,98.

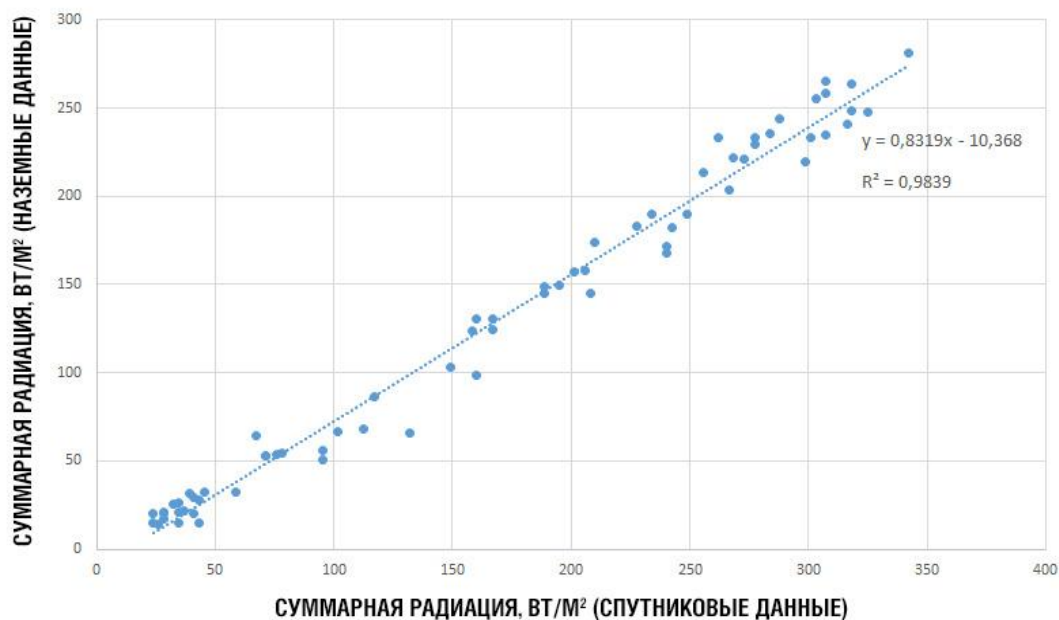


Рисунок 2.2 – корреляционная диаграмма по данным актинометрических станций и спутниковых измерений NASA (Aqua) за период 2012 – 2017 в Самаре (составлено автором)



Рисунок 2.3 – Временной ход суммарной солнечной радиации у поверхности земли в Петропавловске-Камчатском по данным актинометрических станций и спутниковых измерений NASA (Aqua) за период 2012 – 2017 (составлено автором)

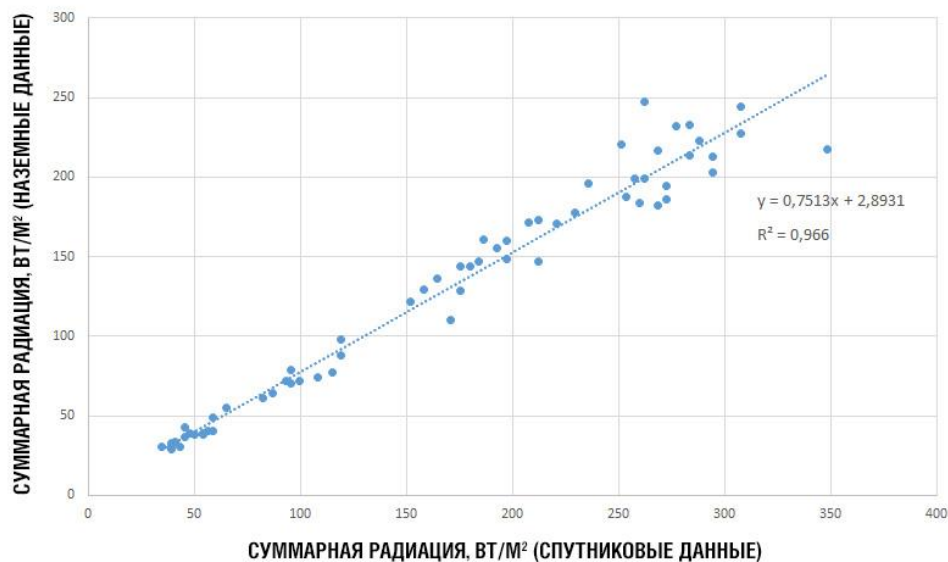


Рисунок 2.4 – корреляционная диаграмма по данным актинометрических станций и спутниковых измерений NASA (Aqua) за период 2012 – 2017 в Петропавловске-Камчатском (составлено автором)

Проведенные сравнения позволили сделать вывод о пригодности спутниковых данных проекта CERES для оценки изменчивости суммарной радиации для любой географической точки в пределах наблюдаемости спутниковых радиометров.

2.2 Изменчивость суммарной радиации в городах Нижнего Поволжья

Для оценки пространственно-временного распределения суммарной солнечной радиации на территории Нижнего Поволжья были выбраны города Самара, Саратов, Волгоград и Астрахань. Точность определения координат в пределах $0,75^\circ$.

На рисунке 2.5 представлена временная изменчивость радиации для города Астрахань в период с 2007 по 2018 гг. Наибольшее значение отмечаются в июне-июле каждого года. Самое максимальное значение для данного пункта отмечено в июне 2018 года и составило 379 Вт/м^2 . Минимальные значения отмечаются в декабре каждого года. Самое минимальное значение для данного пункта в рассматриваемый период времени наблюдалось в декабре 2018 года и составило 41 Вт/м^2 .

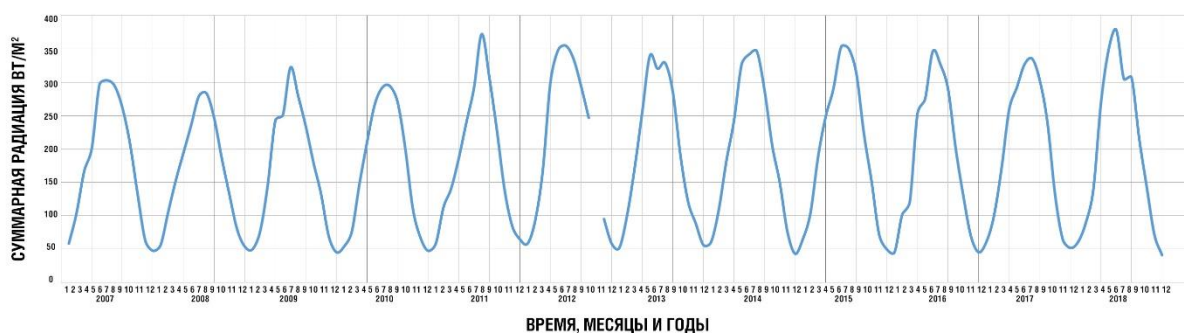


Рисунок 2.5 - Временной ход суммарной солнечной радиации по данным спутниковых измерений NASA (Aqua) за период 2007 – 2018 в г. Астрахань (составлено автором)

На рисунке 2.6 представлена временная изменчивость радиации для города Волгоград в период с 2007 по 2018 гг. Наибольшее значение отмечаются в июне-июле каждого года. Самое максимальное значение для данного пункта отмечено в июне 2018 года и составило 379 Вт/м². Минимальные значения отмечаются в декабре каждого года. Самое минимальное значение для данного пункта в рассматриваемый период времени наблюдалось в декабре 2018 года и составило 28 Вт/м².

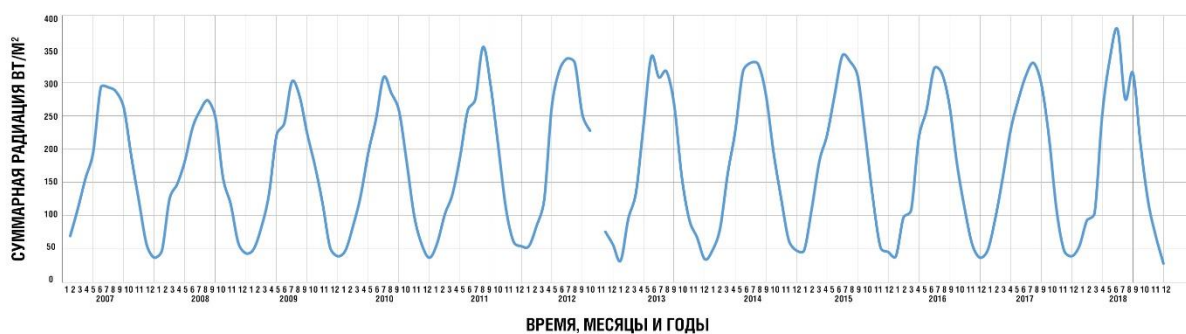


Рисунок 2.6 - Временной ход суммарной солнечной радиации по данным спутниковых измерений NASA (Aqua) за период 2007 – 2018 в г. Волгоград (составлено автором)

На рисунке 2.7 представлена временная изменчивость радиации для города Саратов в период с 2007 по 2018 гг. Наибольшее значение отмечаются в июне-июле каждого года. Самое максимальное значение для данного пункта отмечено в июне 2015 года и составило 349 Вт/м². Минимальные значения отмечаются в декабре каждого года. Самое минимальное значение для данного пункта в рассматриваемый период времени наблюдалось в декабре 2018 года и составило 22 Вт/м².

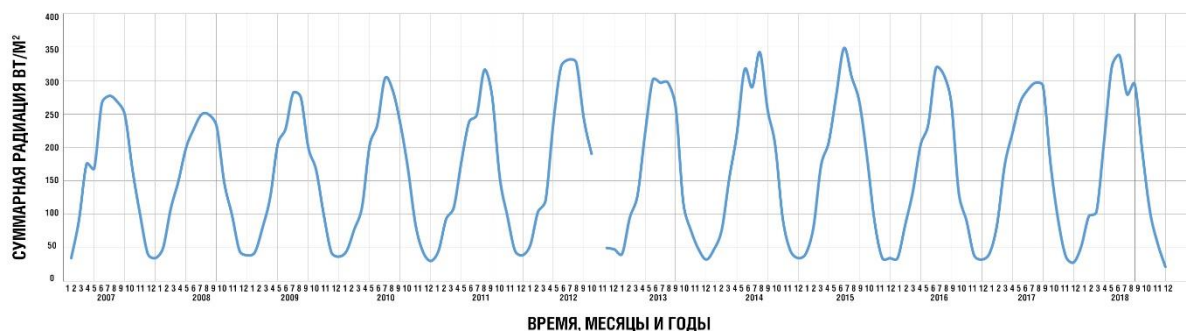


Рисунок 2.7 - Временной ход суммарной солнечной радиации по данным спутниковых измерений NASA (Aqua) за период 2007 – 2018 в г. Саратов (составлено автором)

На рисунке 2.8 представлена временная изменчивость радиации для города Самара в период с 2007 по 2018 гг. Наибольшее значение отмечаются в июне-июле каждого года. Самое максимальное значение для данного пункта отмечено в июне 2015 года и составило 342 Вт/м². Минимальные значения отмечаются в декабре каждого года. Самое минимальное значение для данного пункта в рассматриваемый период времени наблюдалось в декабре 2018 года и составило 22 Вт/м².

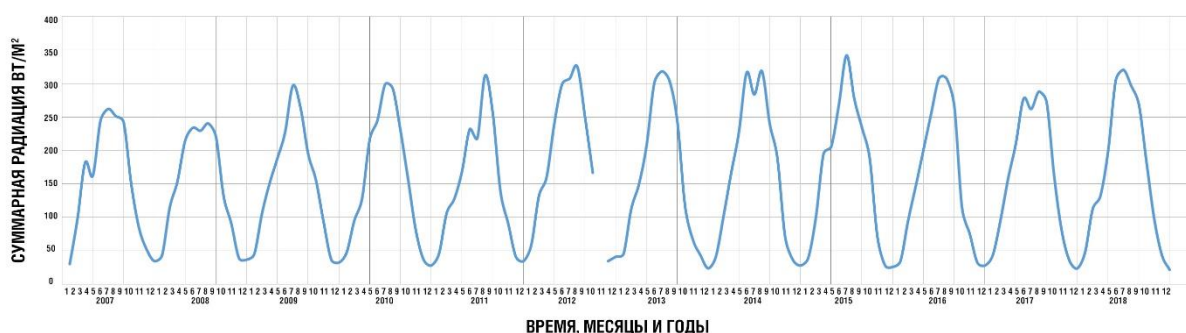


Рисунок 2.8 - Временной ход суммарной солнечной радиации по данным спутниковых измерений NASA (Aqua) за период 2007 – 2018 в г. Самара (составлено автором)

Анализируя временные распределения суммарной солнечной радиации, можно сделать вывод, что самые минимальные значения для всех городов отмечались в декабре 2018 года. Максимумы для городов Саратов и Самара в июне 2015 года, а для Волгограда и Астрахани в июне 2018 года.

2.3 Пространственно-временные вариации суммарной радиации по данным проекта CERES на территории Саратовской области

Среди нетрадиционных источников энергии самым распространенным и перспективным является использование солнечной радиации для получения электрической и тепловой энергии. Основной проблемой гелиоэнергетики являются высокие финансовые риски, снизить которые помогут прорывные технические решения и широкое распространение солнечных энергетических установок. Россия по масштабам развития солнечной энергетики значительно уступает многим странам, несмотря на имеющиеся ресурсы и инновационные разработки. Применение гелиоэнергетических установок позволило бы в некоторой степени снизить энергетическую напряженность, диверсифицировав использование энергоресурсов. Эффективность применения гелиоэнергетических устройств зависит от качественных, надежных данных о параметрах солнечного излучения. Различные солнечные энергосистемы – фотоэлектрические или тепловые – требуют различных типов данных, но в любом случае эти данные должны быть объективными, точными, отражать возможные вариации солнечного излучения во времени и пространстве. Анализ климатических условий расположения объектов гелиоэнергетики предполагает исследование особенностей пространственного и временного распределения солнечной энергии в месте планируемой эксплуатации гелиоэнергетических устройств и определение необходимых условий и характеристик оптимального режима их функционирования.

Для характеристики, поступающей на территорию солнечной радиации, используются следующие показатели: суммарной радиации, её изменчивость в разные временные интервалы. В основу исследования положены данные по 5 метеостанциям, ведущим актинометрические наблюдения и данные измерения суммарной радиации устройством Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES), установленном на спутнике NASA Aqua. Наличие такой климатической информации позволяет выполнить достаточно детальный анализ влияния реальных местных климатических условий на работу солнечных установок.

Для получения заданных значений из большого массива данных архива CERES (NASA), которые в дальнейшем использовались для построения карт распределения суммарной радиации в Саратовской области, был разработан макрос для программы Microsoft Excel.

На следующем этапе проводится районирование территории с использованием программы MapInfo 12 отражающей как долгосрочный режим поступления солнечной радиации, так и его изменчивость. Это позволяет дифференцировать территорию по особенностям радиационного режима.

Согласно рисункам 2.9-2.11 и Приложению Б, которые иллюстрируют карты распределения суммарной радиации на территории Саратовской области, величина этой радиации характеризуется существенной пространственной и сезонной изменчивостью.

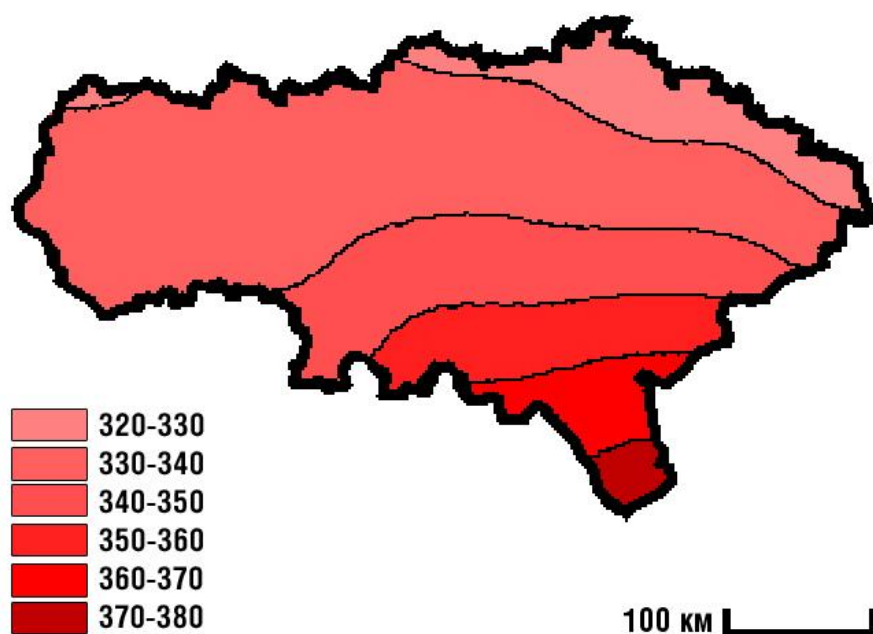


Рисунок 2.9 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в июне 2018 года (составлено автором)

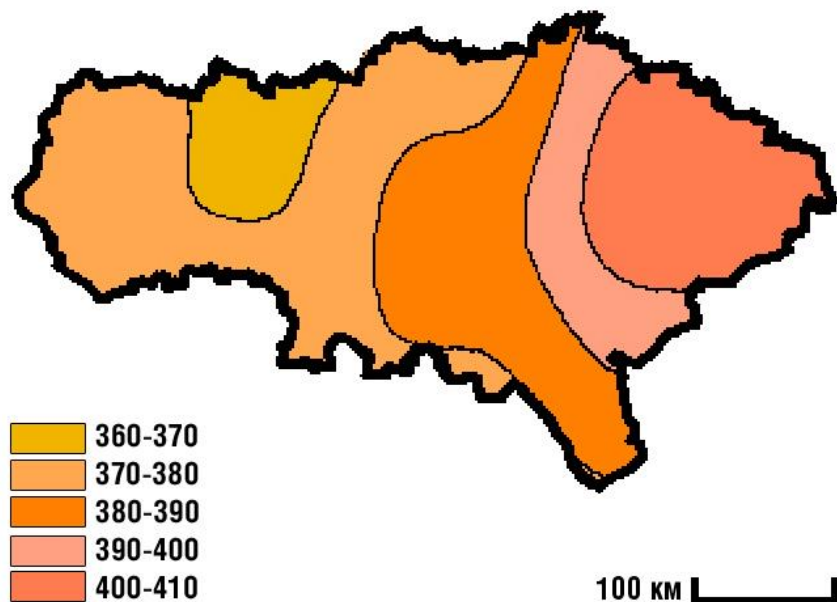


Рисунок 2.10 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в июль 2018 года (составлено автором)

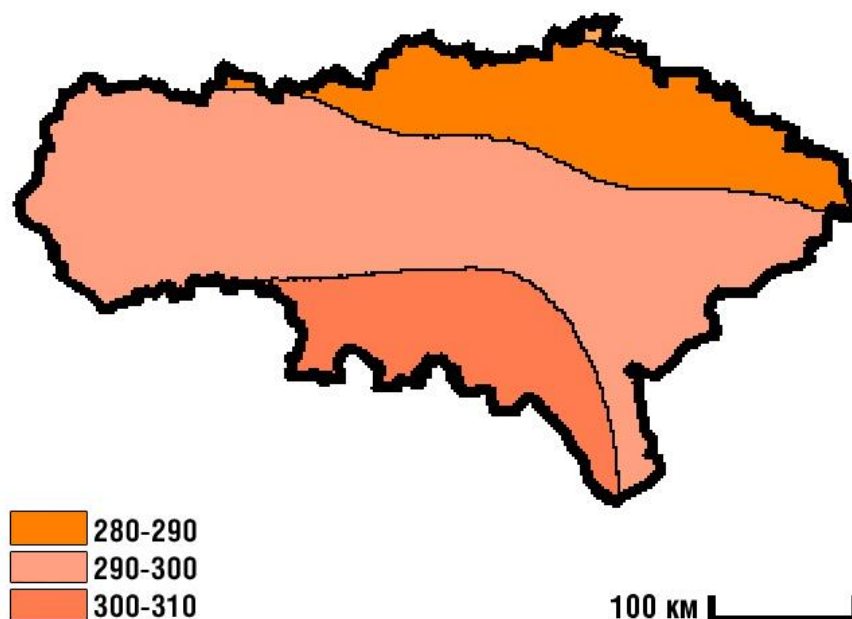


Рисунок 2.11 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в август 2018 года (составлено автором)

Южные районы можно с полным правом отнести к солнечным регионам. Здесь приход солнечной радиации в зимние месяца колеблется от 30 Вт/м^2 до 70 Вт/м^2 , а в летние от 340 Вт/м^2 до 410 Вт/м^2 . Центральная часть Саратовской области характеризуется средними значениями солнечной радиации, летом значения суммарной радиации колеблется от 340 Вт/м^2 до 390 Вт/м^2 , зимой от 10 Вт/м^2 до 50 Вт/м^2 . Север Саратовской области характеризуется низкими значениями, зимой от 10 Вт/м^2 до 40 Вт/м^2 , летом от 320 Вт/м^2 до 380 Вт/м^2 . Наиболее благоприятный период для функционирования гелиоустановок – июнь-июль, когда ежемесячная суммарная радиация составляет в среднем 360 Вт/м^2 .

Проведенные исследования позволяют детализировать климатические условия освоения одного из самых масштабных возобновляемых энергетических ресурсов Саратовской области. Энергетическая освещенность поверхности за летние месяцы в крайне северных районах не превышает 320 Вт/м^2 , а на юге региона достигает 410 Вт/м^2 . На территории

наиболее перспективных районов (в первую очередь, это Алгайский район) возможно создание крупных гелиосистем, которые глобально решат вопрос снабжения энергией. Зимой на данной территории инсоляция равна 60 Вт/м^2 , а летом достигает 410 Вт/м^2 . Климатические условия как фактор развития гелиоэнергетики влияют не только на саму возможность эксплуатации гелиоустановок, но и на выбор оптимальных для конкретного района технических решений использования энергии солнца [2].

2.4 Особенности суточного режима солнечной радиации в Саратове

Количество суммарной радиации зависит от продолжительности дня, высоты солнца, прозрачность атмосферы, облачности и альbedo подстилающей поверхности. При ясном небе суммарная радиация характеризует возможное количество солнечного тепла и в среднем за год на широте Саратова составляет 6323 МДж/м^2 , причем 80% приходится на долю прямой солнечной радиации. В годовом ходе суммарной радиации максимум наблюдается в июне - июле (897 МДж/м^2), минимум - в декабре (122 МДж/м^2).

Действительный средний многолетний приход суммарной радиации на широте Саратова при средних условиях облачности составляет 71% от возможного и равен 4479 МДж/м^2 , 53% от этого количества составляет прямая солнечная радиация. Согласно рисункам 2.12-2.14 и Приложению В, соотношение прямой и рассеянной радиации в общем потоке различается по сезонам. Так, в холодный период, с ноября по март, при средних условиях облачности преобладает рассеянная радиация (60-73%), а в теплый период - прямая (56-59%).

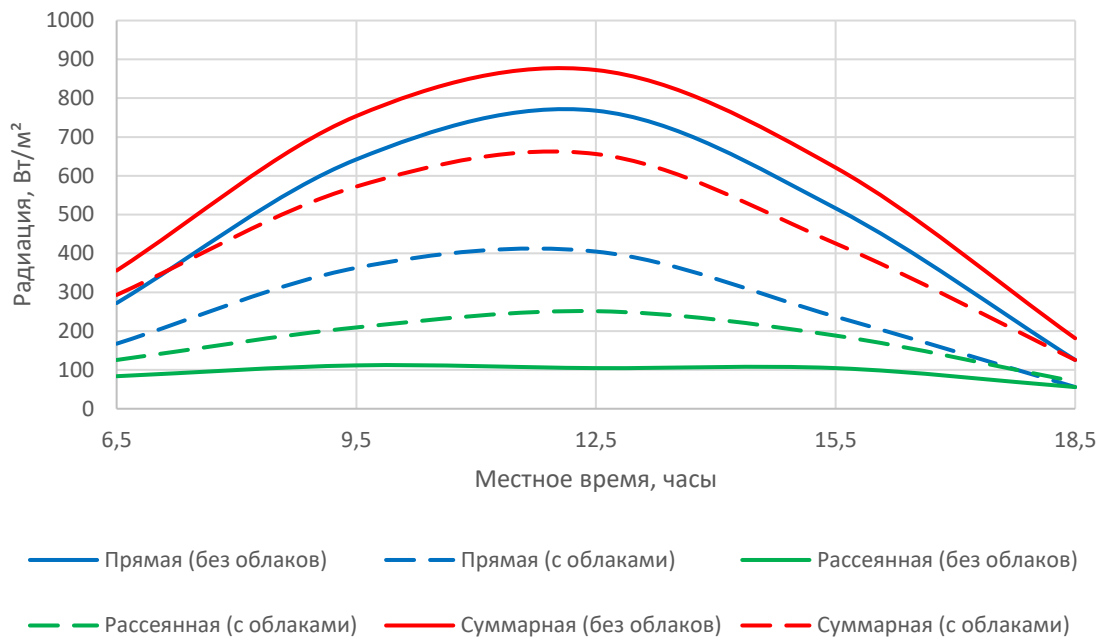


Рисунок 2.12 – Суточное распределение различных видов солнечной радиации в г. Саратове в июне (составлено автором)

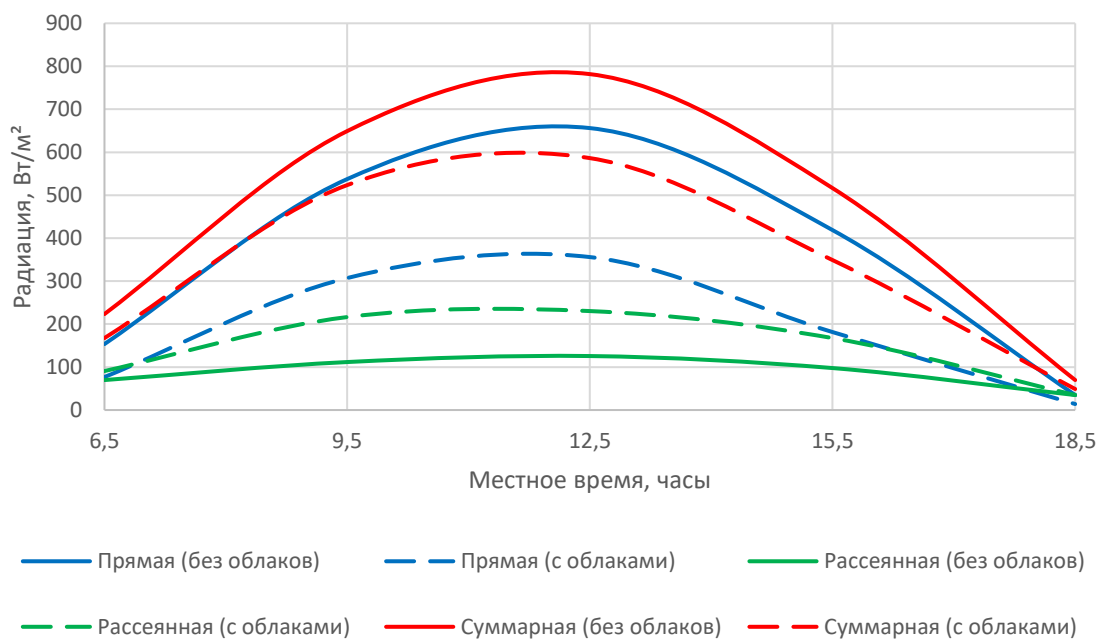


Рисунок 2.13 – Суточное распределение различных видов солнечной радиации в г. Саратове в июле (составлено автором)

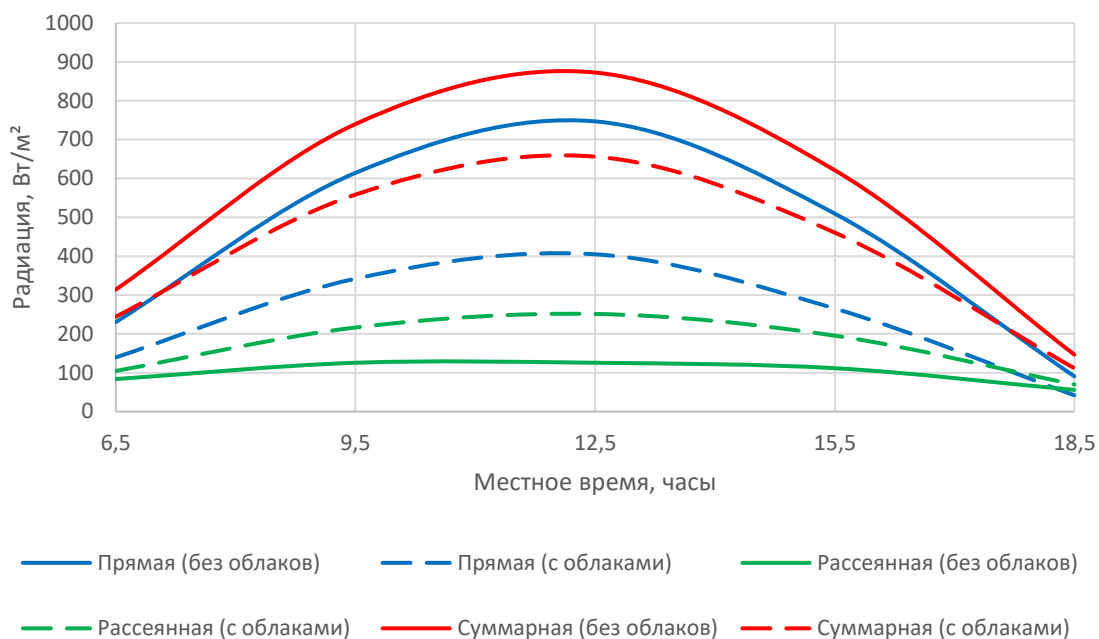


Рисунок 2.14 – Суточное распределение различных видов солнечной радиации в г. Саратове в августе (составлено автором)

В летние месяцы на горизонтальную поверхность в утренние и вечерние часы (6 ч 30 мин и 18 ч 30 мин) при ясном небе поступает 240-280 Вт/м² солнечной радиации. К полудню энергетическая освещенность возрастает до 720-770 Вт/м².

Продолжительность солнечного сияния и характер облачности определяют количество поступающей солнечной радиации к земной поверхности. Число ясных и пасмурных дней имеет четко выраженный годовой ход: в теплое время года первые максимальны (наибольшее число по нижней облачности приходится на май и сентябрь - почти половину месяца); вторые - минимальны летом (1-2 дня). Самый пасмурный период года с ноября по февраль, когда число пасмурных дней по общей облачности составляет 14-16 дней, а продолжительность сияния Солнца составляет всего 1-2 ч в сутки (что составляет примерно пятую часть от продолжительности дня). Число дней без солнца колеблется от 13-20 в месяц зимой, до 0-2 дней в летнее время. Весной число дней без Солнца резко сокращается, а

продолжительность солнечного сияния существенно увеличивается - до 5-6 ч в день, или до 40-50% теоретически возможно. Летом дни без Солнца - большая редкость, оно в течении дня светит 8-9 ч, или 60-70% светового дня. Осенью, особенно с октября, небо вновь начинает затягиваться облаками, и продолжительность солнечного сияния сокращается до 20-30% от возможной [19].

3 Сравнение продолжительности солнечного сияния по данным ВНИИГМИ-МЦД и облачного покрытия (Cloud Fraction) по данным спутника NASA Terra

Для сравнения данных был использован ряд измерений годовой суммарной продолжительности солнечного сияния, полученный из базы данных ВНИИГМИ-МЦД и среднемесячные значения облачного покрытия для пунктов, Росташа, Ершов, Октябрьский городок, Эльтон, Фролово, Элиста, Пенза.

3.1 Получение архивных среднемесячных значений Cloud Fraction по данным спутника NASA Terra

Для получения доступа к спутниковым данным облачного покрытия Terra/MODIS был использован ресурс NASA Earth Observation [20]. Интернет-портал NASA Earth Observation позволяет пользователям анализировать архивную и оперативную спутниковую информацию для выбранного региона за различные временные интервалы.

Платформа NASA Earth Observation позволяет работать с архивными и оперативными данными облачного покрытия, по географическим координатам, с различным пространственным разрешением и различными временными осреднениями. В нашем случае были использованы среднемесячные значения облачного покрытия с пространственным

разрешением 0.25 градуса. Продукты Terra/MODIS на данной платформе обновляются ежедневно, по мере поступления информации со спутника. Архивные данные доступны с 24 февраля 2000 г. по настоящее время.

Для получения данных облачного покрытия были использованы приблизительные координаты пунктов, так как точные координаты выбрать не было возможности, см. таблицу 1, на которой ко всем использованным пунктам приведены их фактические и приближенные координаты.

Пункты	Фактическая		Приближенная	
	Широта	Долгота	Широта	Долгота
Ершов	51,40	48,30	51,375	48,375
Окт.Городок	51,6	45,5	51,625	45,375
Росташи	51,9	43,6	51,875	43,375
Эльтон	49,1	46,9	49,125	46,375
Фролово	49,8	43,7	49,875	43,625
Элиста	46,4	44,3	45,875	44,125
Пенза	53,1	45	53,125	45,125

Таблица 3.1 – Пункты, их фактическая и приблизительная широта и долгота (составлено автором)

3.2 Получение архивных среднемесячных значений продолжительности солнечного сияния по данным ВНИИГМИ-МЦД

Для получения данных по продолжительности солнечного сияния был использован интернет-ресурс ВНИИГМИ-МЦД Аисори – Удаленный доступ к ЯОД-архивам [21].

Таким образом, с февраля 2000 г. по декабрь 2019 г. имеется параллельный ряд наблюдений суммарной годовой продолжительности солнечного сияния и среднегодового облачного покрытия со спутника NASA Terra, что позволило провести хорошее сравнение данных для этого промежутка времени и выявить хорошую обратную зависимость двух

показателей данных. В качестве примера, на рисунке 3.1-3.3 представлены графики сравнения показателей годовой суммы солнечного сияния по данным ВНИИГМИ-МЦД и значений балльной облачности по данным NASA Terra в Росташе, Ершове и Октябрьском городке соответственно.

Согласно графикам сравнения 3.1-3.3, а также графикам сравнения из Приложения А (рис. А1-А4) можно сделать вывод о хорошей обратной зависимости годовой суммы продолжительности солнечного сияния, то есть при росте облачности наблюдалось падение продолжительности солнечного сияния.

Также на рисунках 3.1, 3.2, А1, А2, А4 наблюдаются максимумы в 2010 году, это связано с продолжительным периодом аномально жаркой погоды в России в последней декаде июня — первой половине августа 2010 года, которая стала одной из причин массовых пожаров, сопровождавшихся небывалым смогом в ряде городов и регионов. Привела к экономическому и экологическому ущербу.

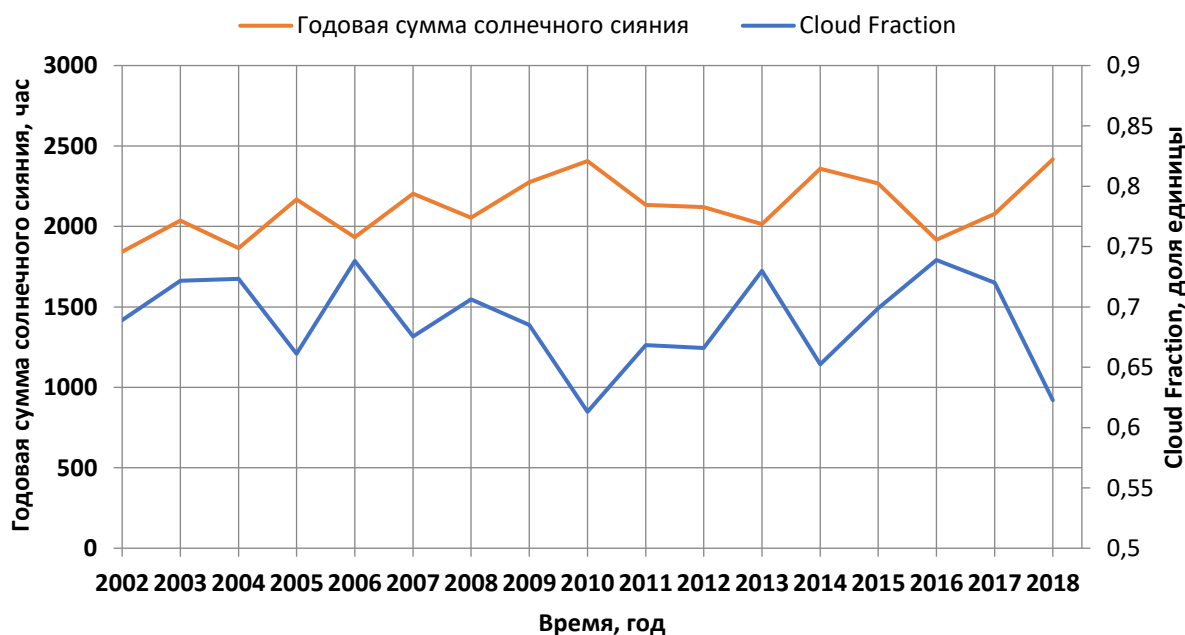


Рисунок 3.1 – График сравнения показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия в Росташах (составлено автором)

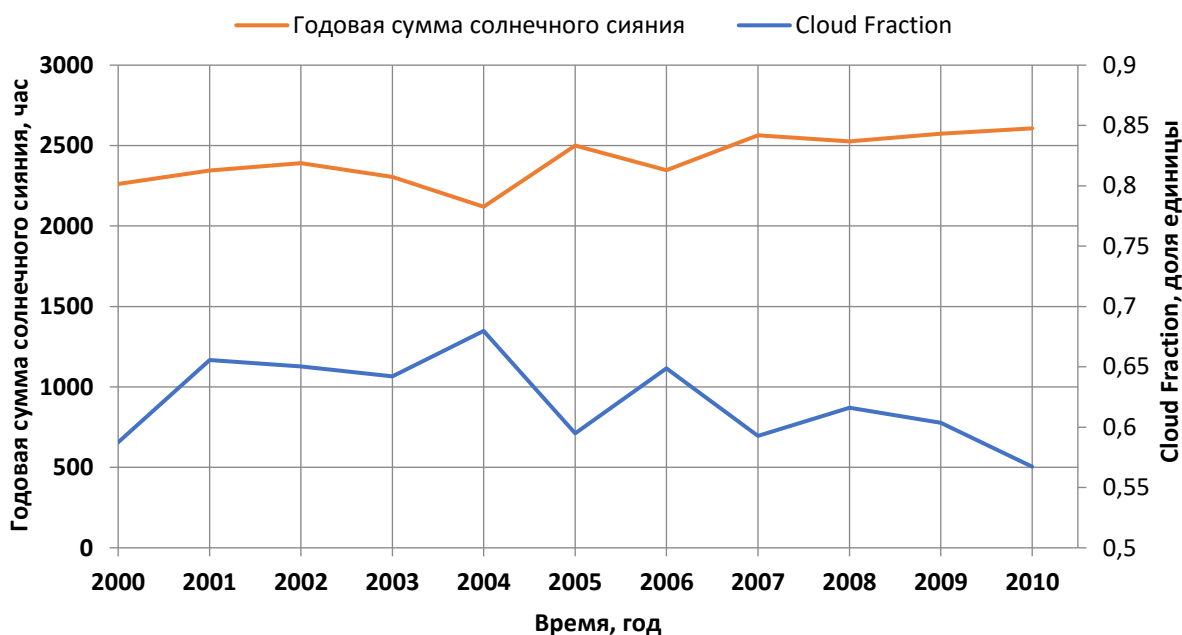


Рисунок 3.2 – График сравнения показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия в Ершове (составлено автором)

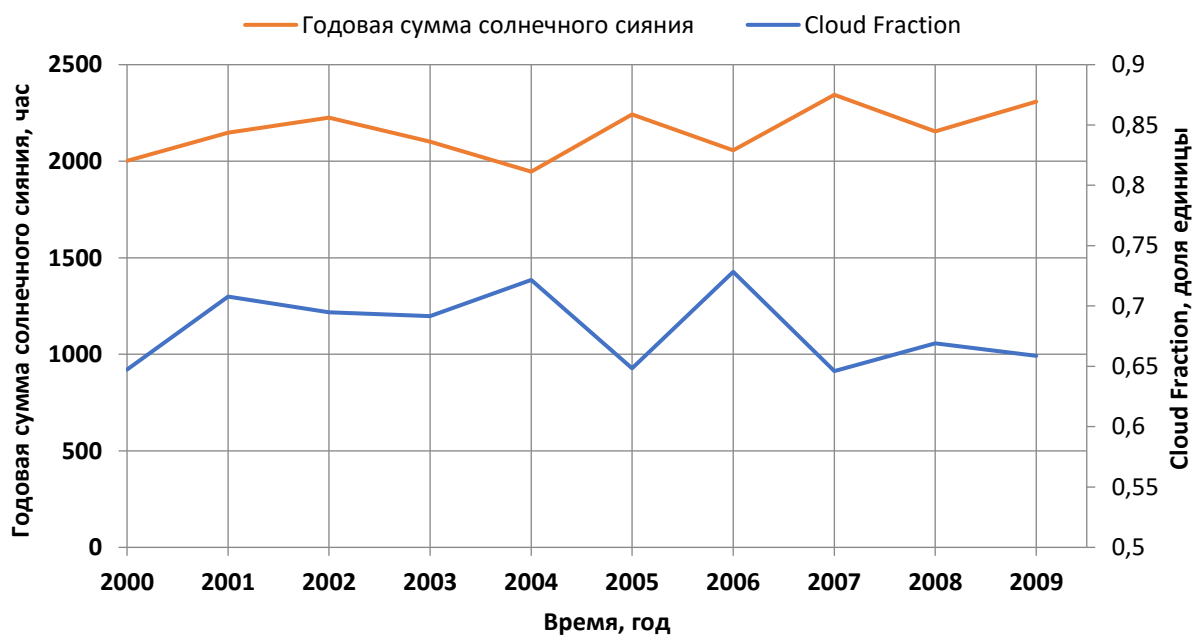


Рисунок 3.3 – График сравнения показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия в Октябрьском городке (составлено автором)

На рисунках 3.4-3.6 представлены корреляционные диаграммы показателей годовой суммы солнечного сияния по данным ВНИИГМИ-МЦД и значений балльной облачности по данным NASA Terra для пунктов Саратовской области – Росташа, Ершов и Октябрьский городок. Для Росташа корреляция составляет -0,804, для Ершова -0,724, а для Октябрьского городка -0,558. Корреляционные диаграммы для пунктов Эльтон, Фролово, Элиста и Пенза находятся в Приложении А (рис. А5-А8).

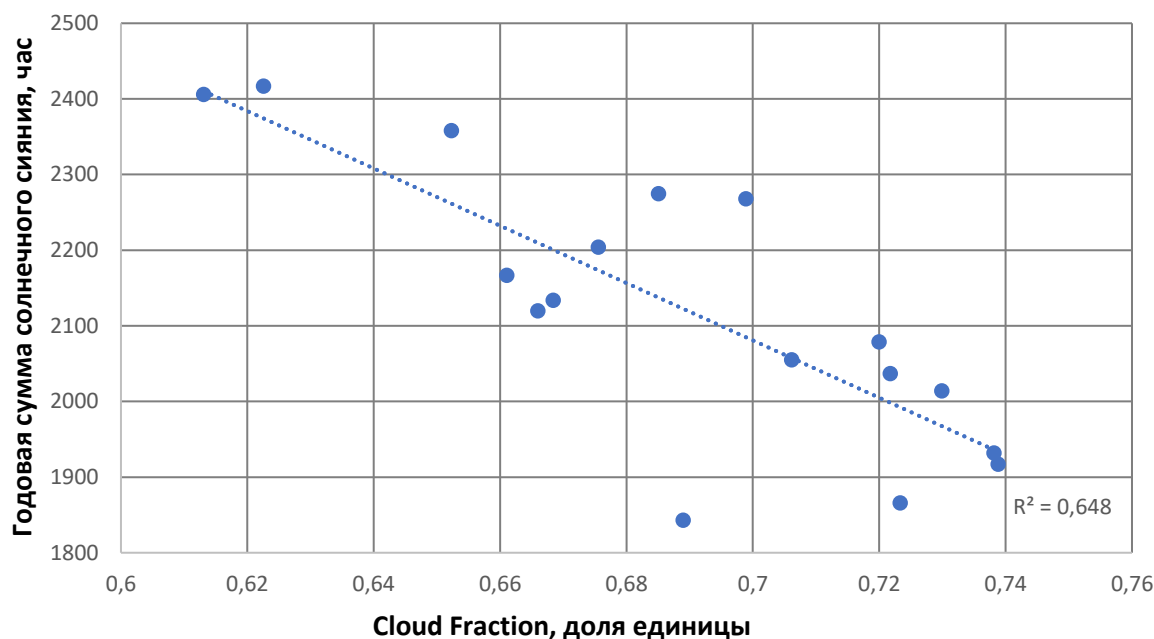


Рисунок 3.4 – Корреляционная диаграмма показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия в Росташа (составлено автором)

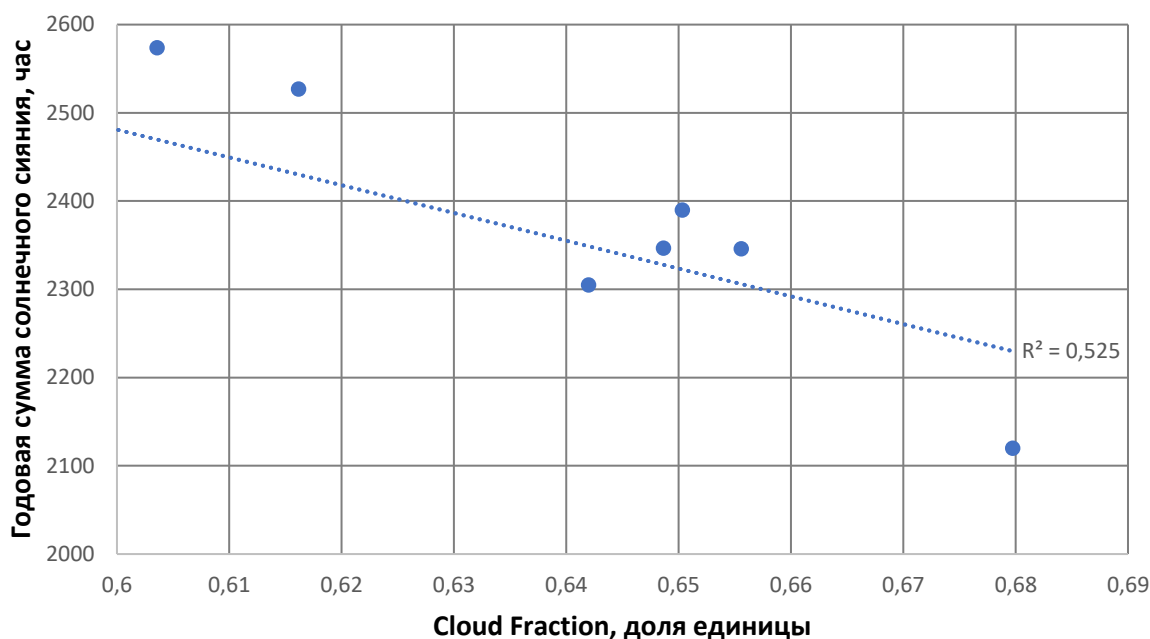


Рисунок 3.5 – Корреляционная диаграмма показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия в Ершове (составлено автором)

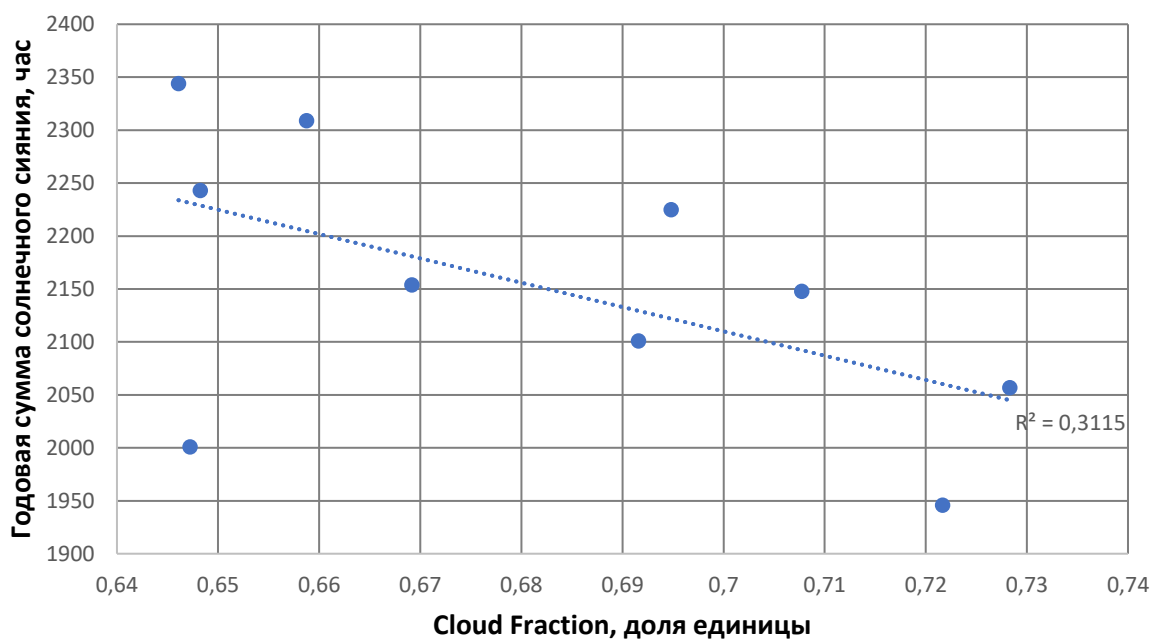


Рисунок 3.6 – Корреляционная диаграмма показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия в Октябрьском городке (составлено автором)

На рисунке 3.7 представлен весь период измерений продолжительности солнечного сияния по данным ВНИИГМИ-МЦД для пунктов Саратовской области - Ершова, Октябрьского городка, Саратова и Росташа. Максимум продолжительности солнечного сияния в Саратовской области, а именно в городе Ершов наблюдался в 1996 году и составлял 230 часов. Для Саратова максимум наблюдался в 1986 году и составлял 206 часов, для Октябрьского городка в 1996 году и составлял 209 часов, для Росташа также в 1996 году – 202 часа. Минимум для всей Саратовской области наблюдался в городе Росташа в 2001 году и составлял 59 часов, для Ершова – 1957 году и составлял 155 часов, Саратов – 1989 год – 142 часа, для Октябрьского городка минимум наблюдался в 1990 году и составлял 131 час.

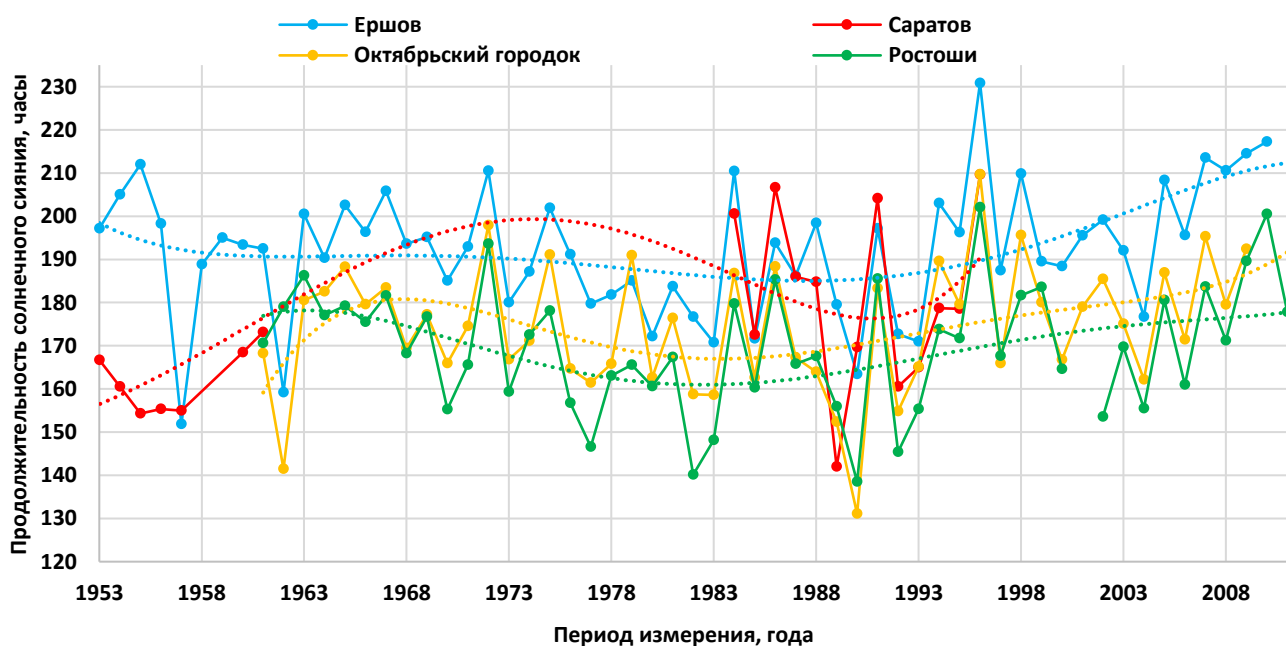


Рисунок 3.7 – Среднегодовые значения продолжительности солнечного сияния для пунктов Ершов, Октябрьский городок, Саратов и Росташа (составлено автором)

Согласно показаниям линиям тренда для Ершова, Росташа и Октябрьского городка примерно до 1992 года продолжительность солнечного

сияния шла на спад со 180 до 160 часов, после 1992 значения начали рост, в среднем до 190 часов. Однозначно оценить ход продолжительности солнечного сияния по городу Саратов невозможно так как ряд короткий и прерывистый.

4 Анализ карт многолетних средних значений суммарной солнечной радиации на территории Саратовской области с 2007 по 2019 года

Для подробного анализа приходящей солнечной радиации на территорию Саратовской области были построены карты многолетних средних значений суммарной солнечной радиации, по данным проекта NASA CERES с 2007 по 2019 года.

Для этого нами был выбран весь период измерений прибора CERES, а именно с 2007 по 2019 года. Далее в программе MapInfo12 мы усреднили значения каждого месяца за весь период измерений, тем самым получив многолетние среднемесячные карты суммарной солнечной радиации.

Как видно на рисунке 4.1 суммарная солнечная радиация распределяется зонально. Наиболее обеспеченным суммарной солнечной радиацией районом является Алгайский район – среднегодовые значения тут достигают 170 Вт/м².

На рисунках 4.2 и 4.3 представлены карты средних значений суммарной солнечной радиации на территории Саратовской области за менее и наиболее обеспеченные суммарной солнечной радиацией месяцы – январь и июнь. Высокие значения суммарной солнечной радиации наблюдаются в летние месяцы, максимальные значения в июне. Наименьшие значения наблюдаются в зимние месяцы, минимальные значения в январе.

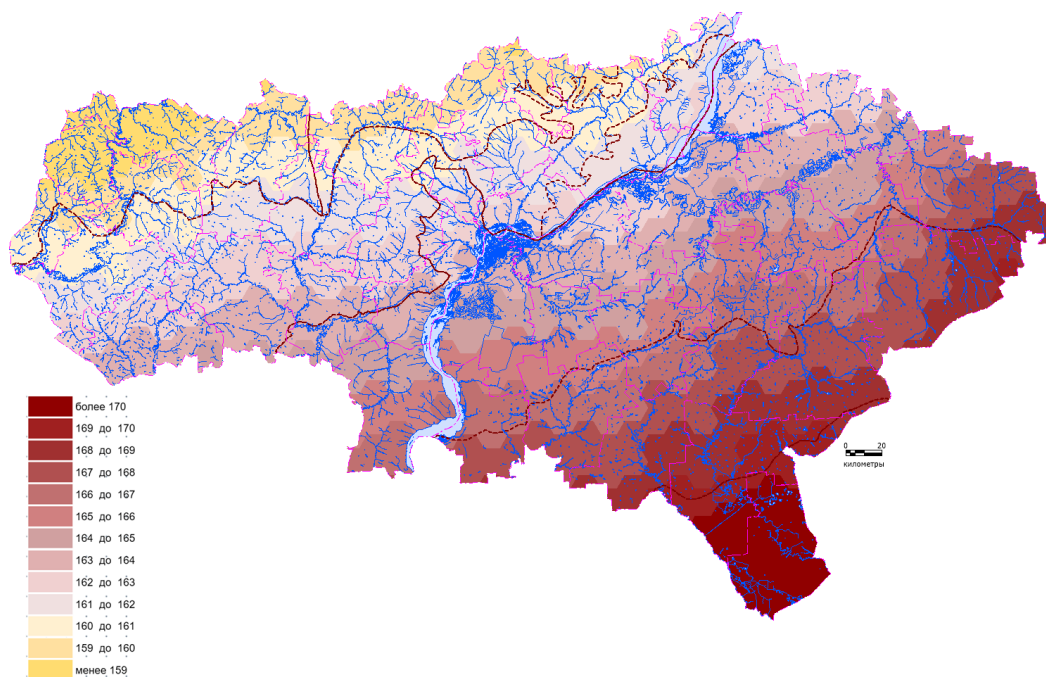


Рисунок 4.1 – Многолетнее среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) по ячейкам на территорию Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)

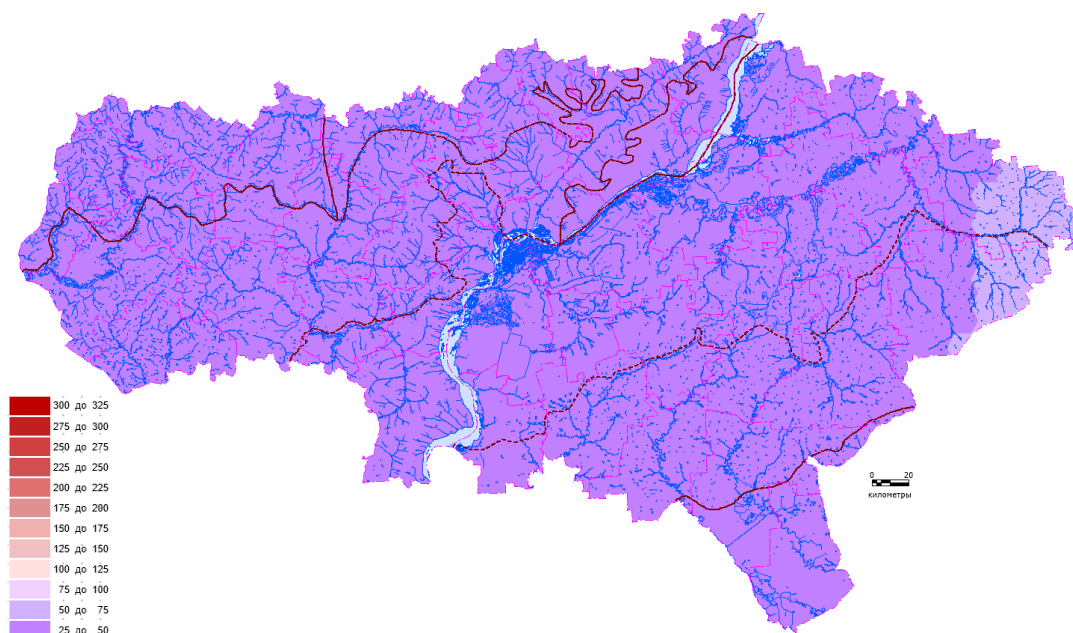


Рисунок 4.2 – Среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) за январь на территорию Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)

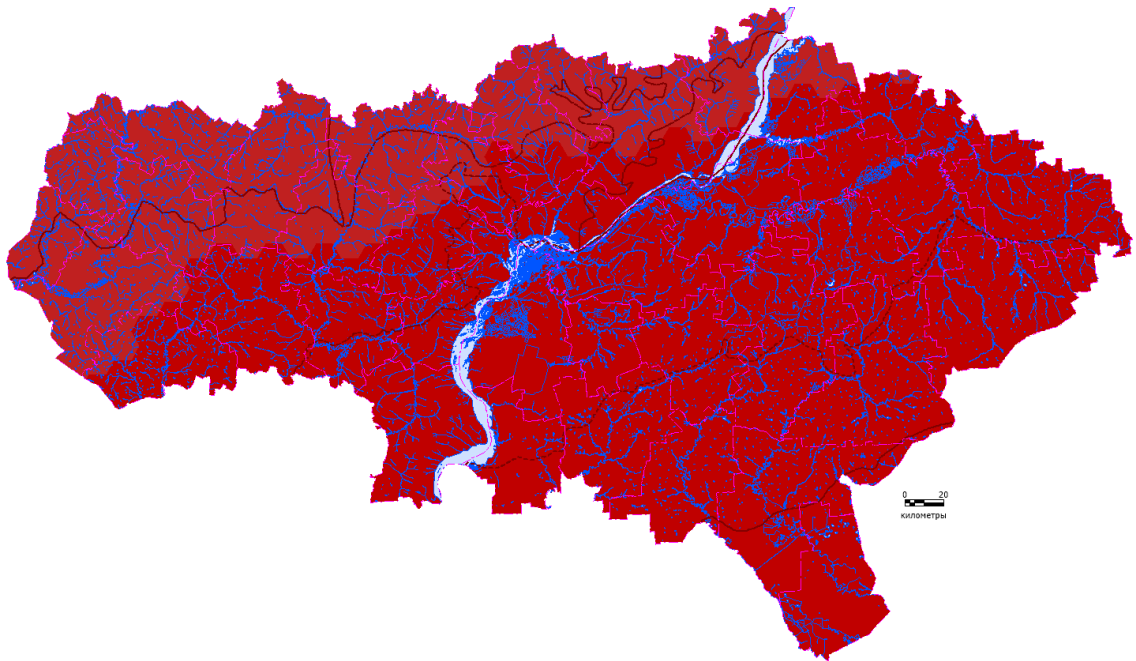


Рисунок 4.3 – Среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) за июнь на территорию Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)

Проведя анализ карт 4.1-4.3 и Д.1-Д.10 (Приложение Д) можно сделать вывод о наиболее благоприятном районе для размещения гелиоэнергетических установок - Алгайский район. Зимой значения здесь обычно не ниже 30 Вт/м², а летом достигают значений в 320 Вт/м².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа были раскрыты некоторые особенности поступления солнечной энергии в Саратовской области.

Достаточно высокие значения коэффициента корреляции (0,99) для Саратова и других пунктов между наземными актинометрическими станциями и спутниковой информацией CERES указывают на возможность восстановления значений суммарной солнечной радиации с использованием спутниковых данных.

Выполненное районирование исследуемой области с использованием специализированного программного обеспечения «MapInfo - 12» на основе обобщения актинометрической и спутниковой информации, отражающей как долгосрочный режим поступления солнечной радиации, так и его изменчивость, позволило дифференцировать территорию по особенностям радиационного режима.

Сделан вывод о том, что, несмотря на существенную пространственную и временную неоднородность приходящей солнечной радиации на исследуемой территории, возможно внедрение гелиоустановок в структуру энергопотребления населенных пунктов Нижнего Поволжья и Саратовской области, в частности. В дальнейшем необходимо оценить экономическую целесообразность и тип возможных гелиоустановок.

В результате сравнения показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия была выявлена хорошая обратная зависимость, также хорошие показатели корреляции, составляющие в среднем $-0,8$.

Также был построен график хода продолжительности солнечного сияния за период с 1953 по 2008 года для Саратовской области. Найдены максимумы и минимумы значений продолжительности солнечного сияния. Описан ход линий тренда по каждому из нанесенных пунктов.

Используя весь период измерений проекта NASA CERES (2007-2019 гг.) были построены карты многолетних средних значений суммарной солнечной радиации территории Саратовской области. Полученные результаты имеют сходства с результатами анализа карт прямой солнечной радиации Саратовской области за 2018 год. Наиболее обеспеченным районом является – Алгайский, наибольшие значения наблюдаются в июне.

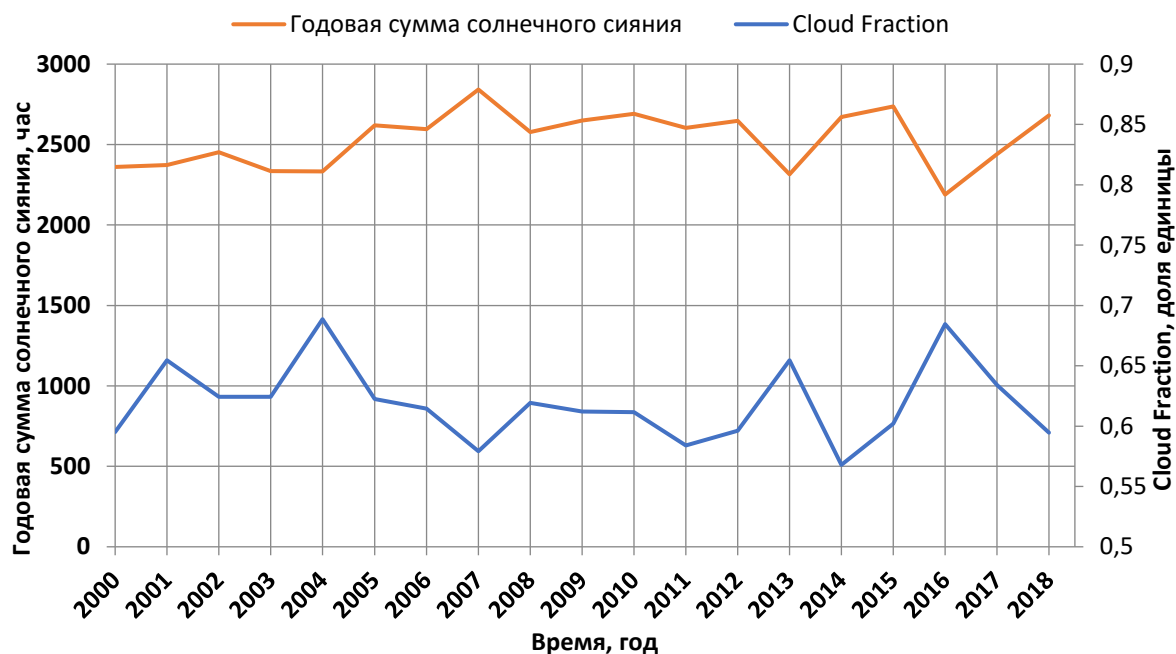
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Александрова, А.А. Преимущества использования возобновляемых источников энергии по сравнению с традиционными источниками энергии / А.А. Александрова // Научные основы современного прогресса: сборник статей Международной научно - практической конференции (18 октября 2016 г, г. Екатеринбург). - 2016. - Ч.1. - С. 6-7.
- 2 Невидимова, О.Г. Климатические условия развития гелиоэнергетики на территории западной Сибири / О.Г. Невидимова, Е.П. Янкович // Современные проблемы науки и образования. - 2015. - № 1. - С. 276.
- 3 Русин, Н.П. Прикладная актинометрия. / Н.П. Русин. - Л.: Изд-во, Гидрометеиздат, 1979. - 232 с.
- 4 Кмито, А.А. Пиргелиометрия. / А.А. Кмито, Ю.А. Скляр. - Л.: Изд-во, Гидрометеиздат, 1981. - 144 с.
- 5 Червяков, М.Ю. Актинометрические методы измерений. Учебно-методическое пособие для студентов географического факультета. / М.Ю. Червяков, Я.А. Нейштадт. / Саратов: Изд-во, СГУ, 2018. - 42 с.
- 6 Толмачева, Н.И. Методы и средства гидрометеорологических измерений (для метеорологов): учебное пособие. / Н.И. Толмачева / Пермь: Изд-во, ПГУ, 2011. - 223 с.
- 7 Кедроливанский, В.Н. Метеорологические приборы. / В.Н. Кедроливанский, М.С. Стернзат / Л.: Изд-во, Гидрометеиздат, 1953. - 544 с.
- 8 Руководство гидрометеорологическими станциям по актинометрическим наблюдениям. Л. : Изд-во, Гидрометеиздат, 1973. - 220 с.
- 9 Волков, С.А. Актинометрические приборы и методы измерения: Учебно-методическое пособие для студентов географического факультета по курсу «Метеорология и климатология». / С.А. Волков, Г.Ф. Иванова / Саратов: Изд-во, СГУ, 2000. - 24 с.

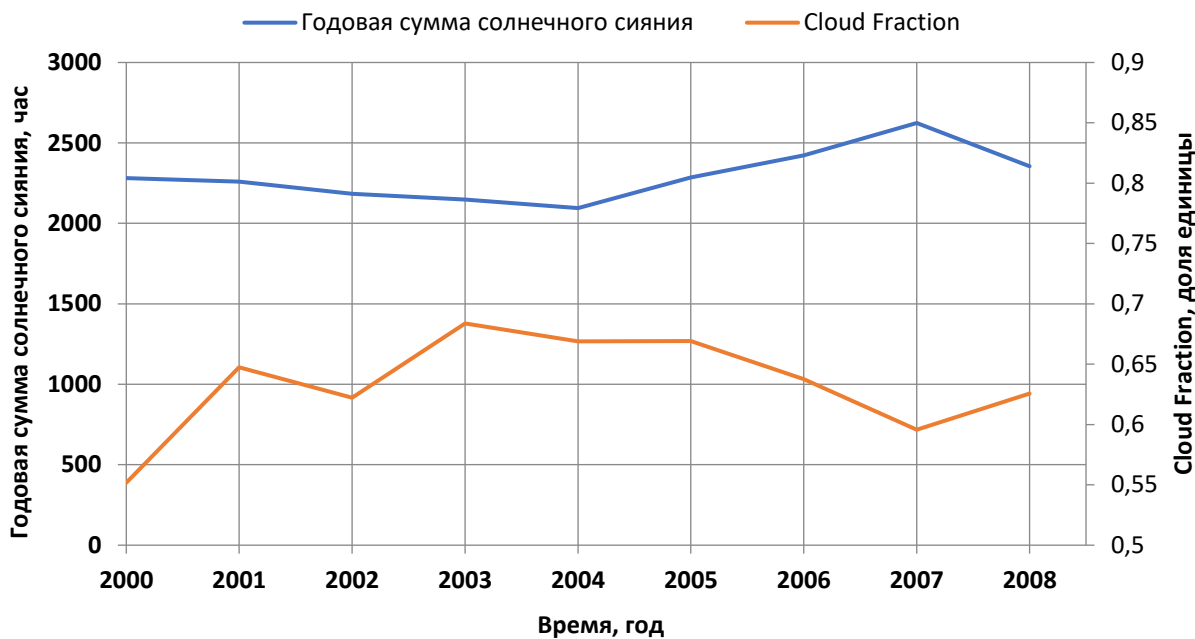
- 10 Актинометрия. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин. Л. : Изд-во, Гидрометеиздат, 1984. - 22 с.
- 11 Шенкал, О. Сравнение приходящей солнечной радиации при разных режимах плотности воздуха на основе нейронных сетей / О. Шенкал // Метеорология и гидрология. - 2018. - № 1. - С. 97-106.
- 12 Скляр, Ю.А. Радиационный баланс Земли. Введение в проблему. / Ю.А. Скляр, Ю.И. Бричков, Н.В. Семёнова. Саратов: Изд-во, СГУ, 2009. - 188 с.
- 13 Скляр, Ю.А. Измерения компонентов радиационного баланса Земли с ИСЗ "Метеор-М" № 1. Аппаратура ИКОР-М / Ю.А. Скляр, В.А. Воробьёв, А.И. Котума, М.Ю. Червяков, В.М. Фейгин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2012. - Т.9. - № 2. - С. 173-180
- 14 Скляр, Ю.А. Алгоритм обработки данных наблюдений уходящей коротковолновой радиации с ИСЗ "Метеор-М" № 1 / Ю.А. Скляр, В.А. Воробьёв, А.И. Котума, М.Ю. Червяков, В.М. Фейгин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2012. - Т.9. - № 3. - С. 83-90.
- 15 NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <http://power.larc.nasa.gov> (дата обращения 23.04.2019). – Загл. с экрана. – Яз. англ.
- 16 Горбаренко, Е.В. Использование измеренной, расчетной и спутниковой информации для определения радиационного баланса земной поверхности / Е.В. Горбаренко // Тезисы международного симпозиума «Атмосферная радиация и динамика» (МСАРД - 2017). - 2017. С. 163-164.
- 17 Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://ceres.larc.nasa.gov> (дата обращения 23.04.2019). – Загл. с экрана. – Яз. англ.

- 18 Мировой Центр Радиационных Данных [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: http://wrdc.mgo.rssi.ru/wwwrootnew/wrdc_ru_new.htm (дата обращения 29.04.2019). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 19 Волкова, Л.С. Климато-рекреационный потенциал Волгоградского водохранилища /Л.С. Волкова, А.Б. Рыхлов, С.А. Волков . Саратов: Изд-во, СГУ, 2008. - 176 с.
- 20 NASA Earth Observation [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <https://neo.sci.gsfc.nasa.gov> (дата обращения 20.04.2020). – Загл. с экрана. – Яз. англ.
- 21 Аисори – Удаленный доступ к ЯОД-архивам [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/index0.xhtml> (дата обращения 20.04.2020). – Загл. с экрана. – Яз. рус.
- 22 Нейштадт, Я.А. Изменчивость потоков солнечной радиации на территории Нижнего Поволжья по данным спутниковых и наземных наблюдений / Я.А. Нейштадт, М.Ю.Червяков // Агрометеорология XXI века, часть 2: сборник статей Международной научной конференции, посвященной 100-летию Ю. И. Чиркова (26 ноября 2019 г, г. Москва). – 2019. - С. 114-120.
- 23 Спиряхина, А.А. Взаимосвязь альбедо и поглощенной солнечной радиации с температурой поверхности океана во время событий Эль-Ниньо / А.А. Спиряхина, М.Ю. Червяков, Я.В. Суркова, Я.А. Нейштадт, С.А. Шаркова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сборник статей 17-й Всероссийской открытой конференции. - 2019. - С. 218.

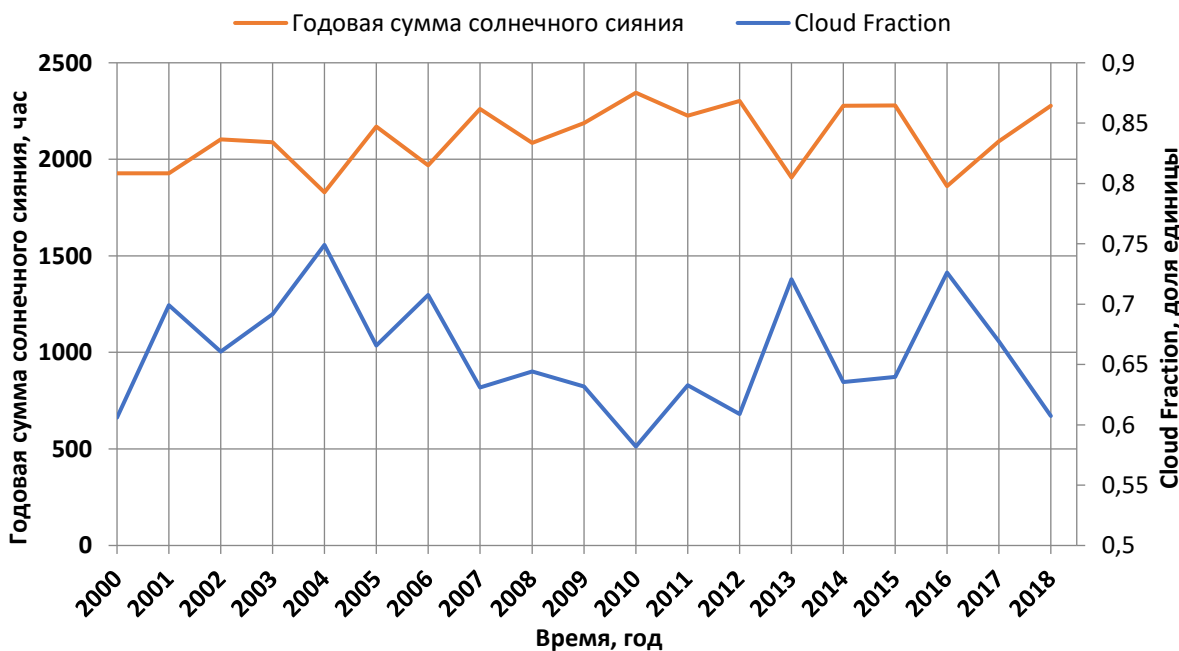
ПРИЛОЖЕНИЕ А – Сравнение продолжительности солнечного сияния по данным ВНИИГМИ-МЦД и облачного покрытия по данным спутника NASA Terra



Приложение А.1 – График сравнения показателей годовой суммы солнечного сияния и значений балльной облачности в Эльтоне (составлено автором)



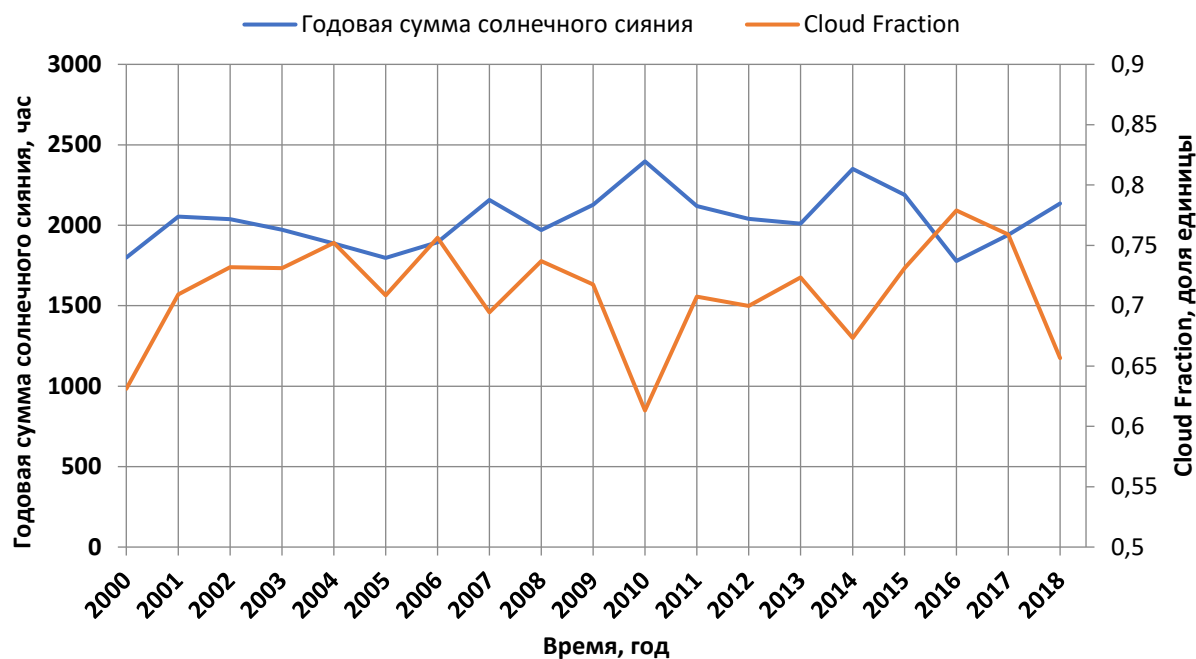
Приложение А.2 – График сравнения показателей годовой суммы солнечного сияния и значений балльной облачности в Фролове (составлено



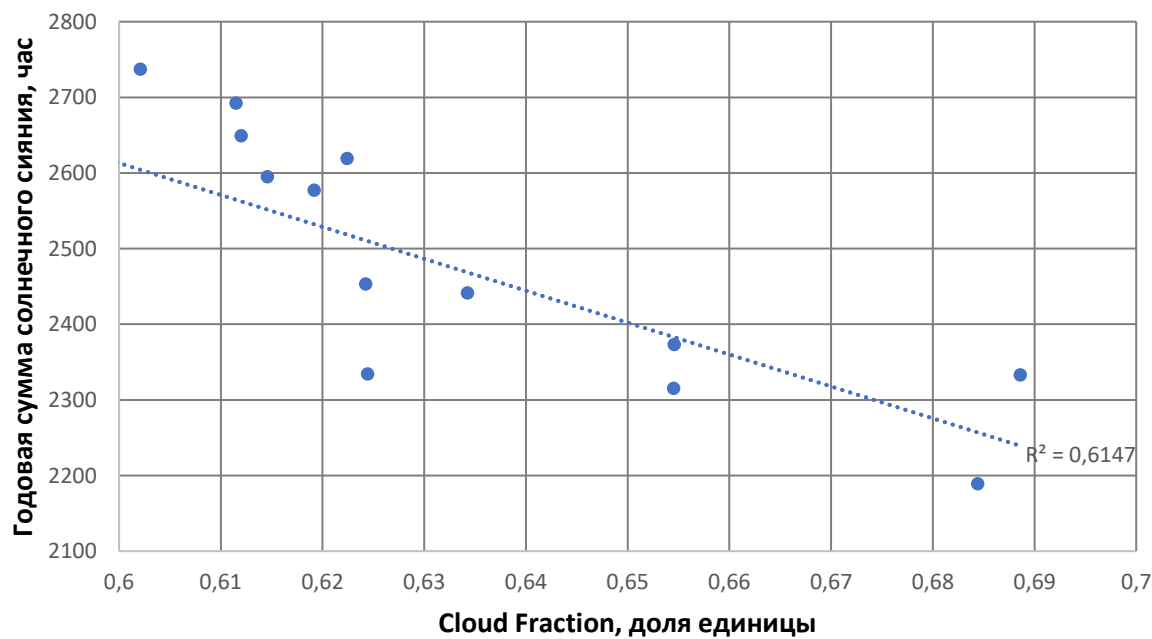
автором)

Приложение А.3 – График сравнения показателей годовой суммы солнечного сияния и значений балльной облачности в Элисте (составлено

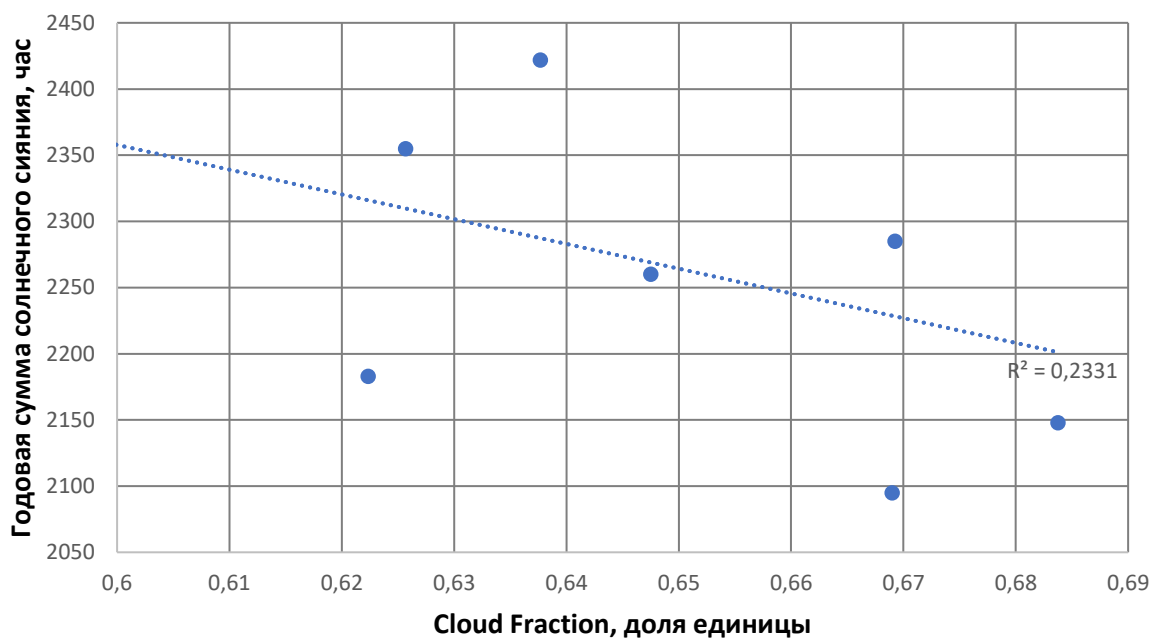
автором)



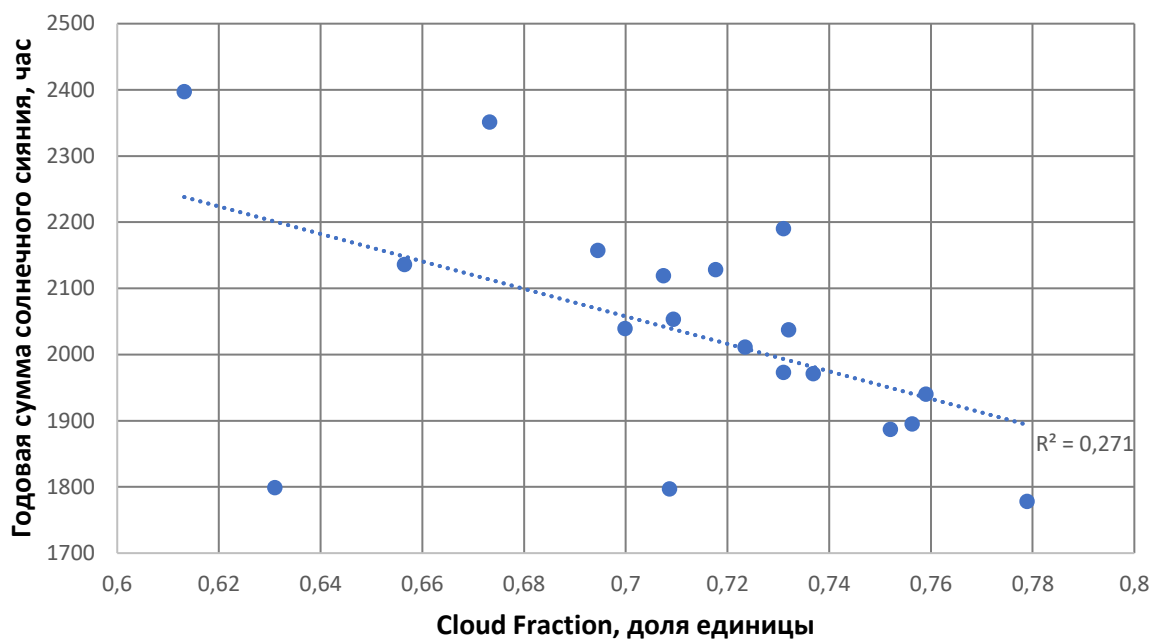
Приложение А.4 – График сравнения показателей годовой суммы солнечного сияния и значений балльной облачности в Пензе (составлено автором)



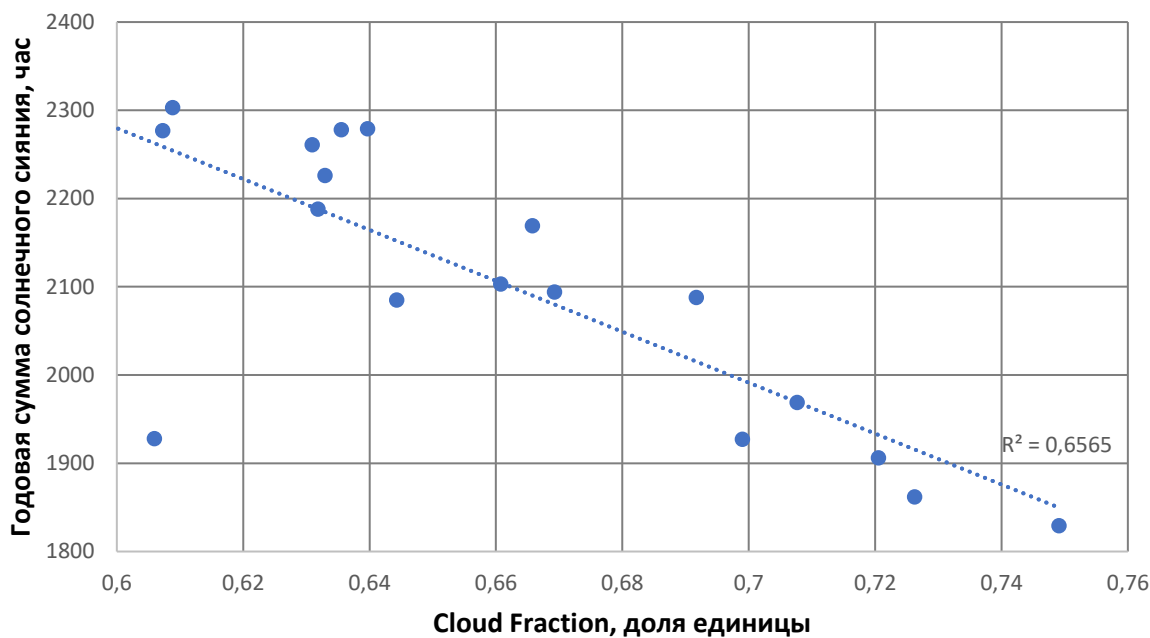
Приложение А.5 – Корреляционная диаграмма показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия в Эльтоне (составлено автором)



Приложение А.6 – Корреляционная диаграмма показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия в Фролове (составлено автором)



Приложение А.7 – Корреляционная диаграмма показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия в Элисте (составлено автором)



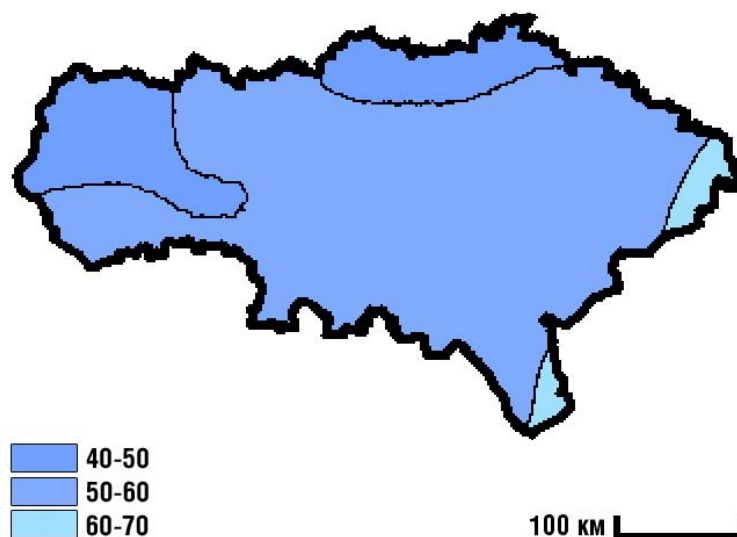
Приложение А.8 – Корреляционная диаграмма показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия в Пензе (составлено автором)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Макрос извлечения заданного массива данных из БД CERES

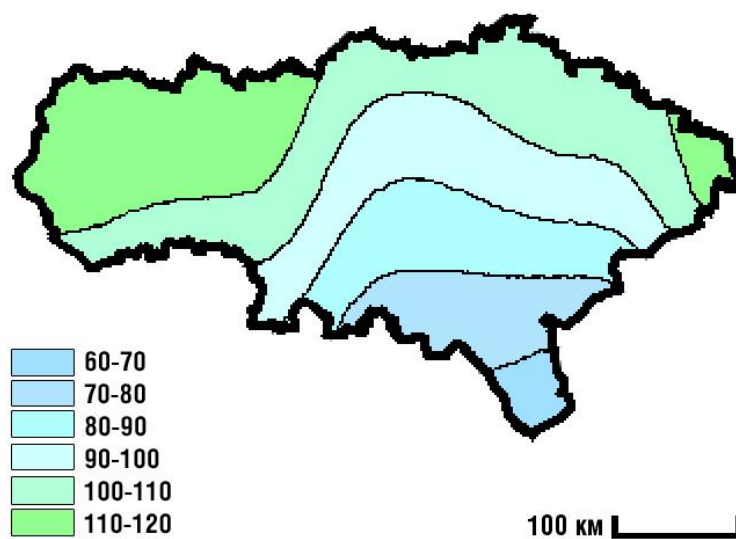
```
Sub Copy()  
Workbooks.Open Filename:="C:\Users\home\Desktop\SOLAR  
INSOLATION\2017\CERES_INSOL_M_2017-01-01_rgb_1440x720.xlsx"  
//Открытие excel-файла, из которого нужно скопировать определенный массив  
данных  
Workbooks("CERES_INSOL_M_2017-01-  
01_rgb_1440x720.xlsx").Worksheets("Лист1").Range("AHF148:AHF164").Copy  
//Копирование с открытого excel-файла определенный диапазон ячеек  
Workbooks("Данные для карт_МАКРОС.xlsm").Activate  
//Активация листа excel-файла, на который собираемся скопировать данные  
ActiveWorkbook.Worksheets("Макрос").Range("C3:C19").Select  
//На активном листе выбираем диапазон ячеек куда надо скопировать данные  
ActiveSheet.Paste  
//Вставка скопированных значений в активный лист excel-файла  
Workbooks("CERES_INSOL_M_2017-01-01_rgb_1440x720.xlsx").Close  
//Закрытие excel-файла, из которого брали данные  
End Sub
```

Приложение Б.1 – Код макроса для программы Excel, для автоматического извлечения заданного массива данных из базы данных CERES (NASA) (составлено автором)

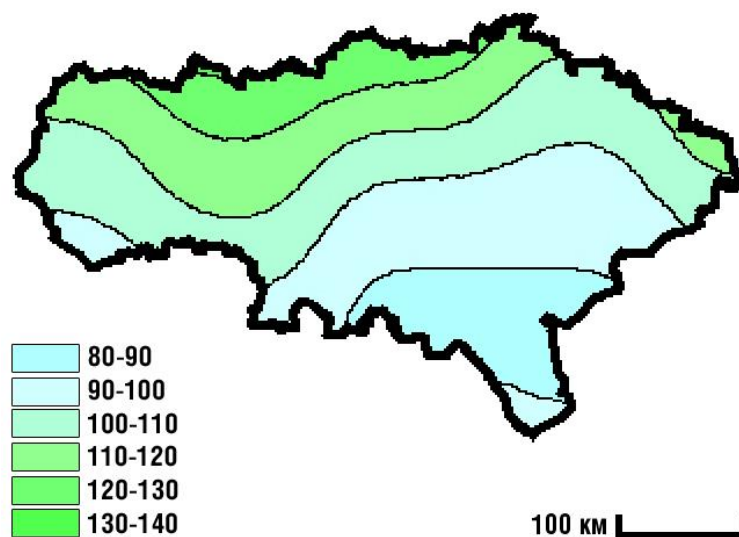
ПРИЛОЖЕНИЕ В – Карты распределения солнечной радиации на территории Саратовской области



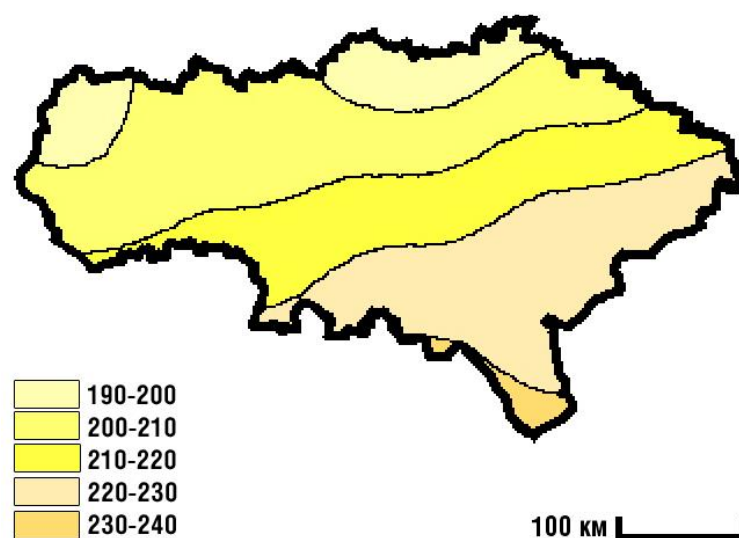
Приложение В.1 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в январе 2018 года (составлено автором)



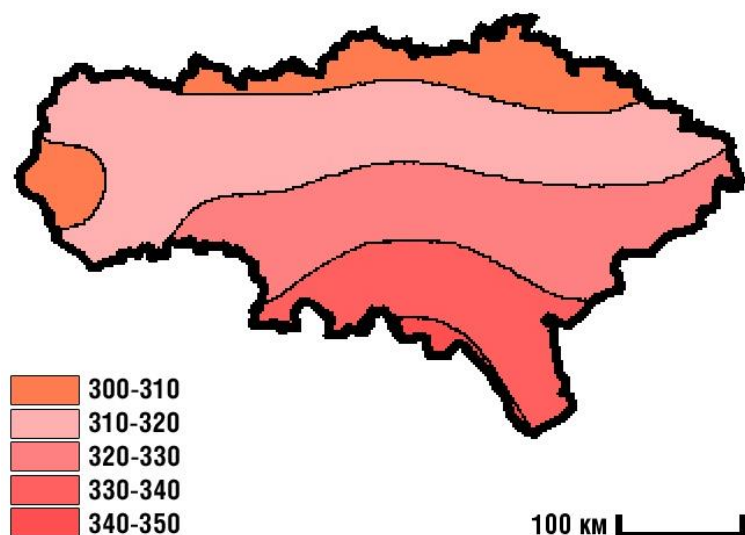
Приложение В.2 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в феврале 2018 года (составлено автором)



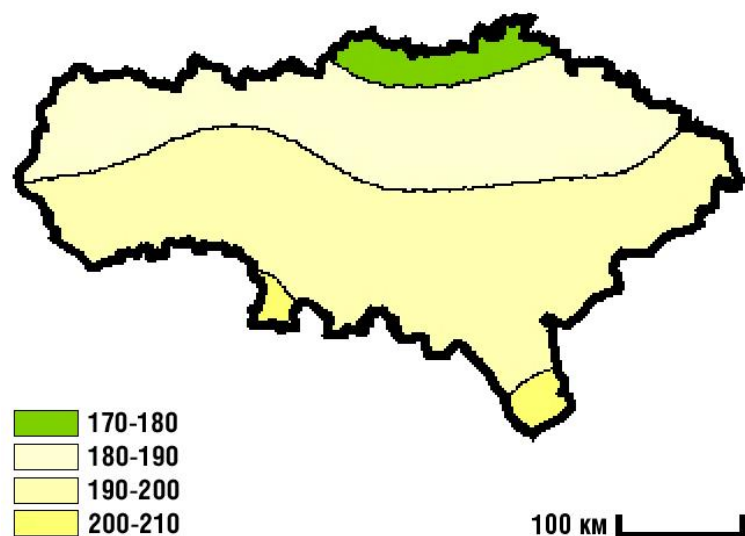
Приложение В.3 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в марте 2018 года (составлено автором)



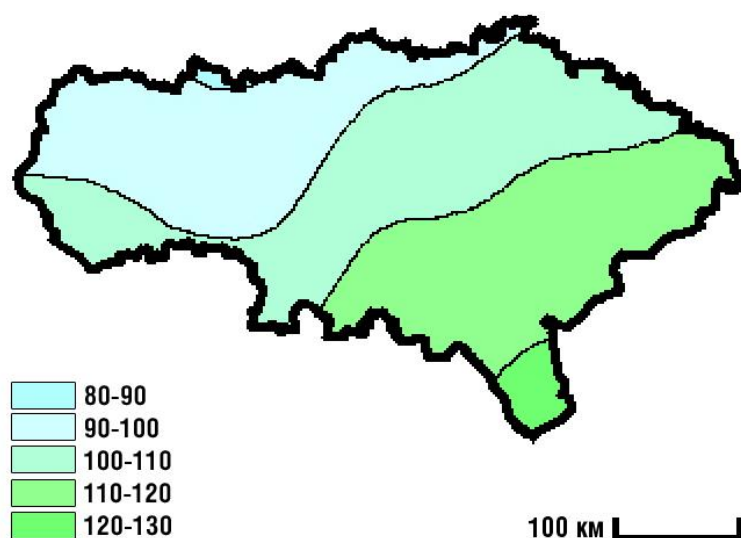
Приложение В.4 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в апреле 2018 года (составлено автором)



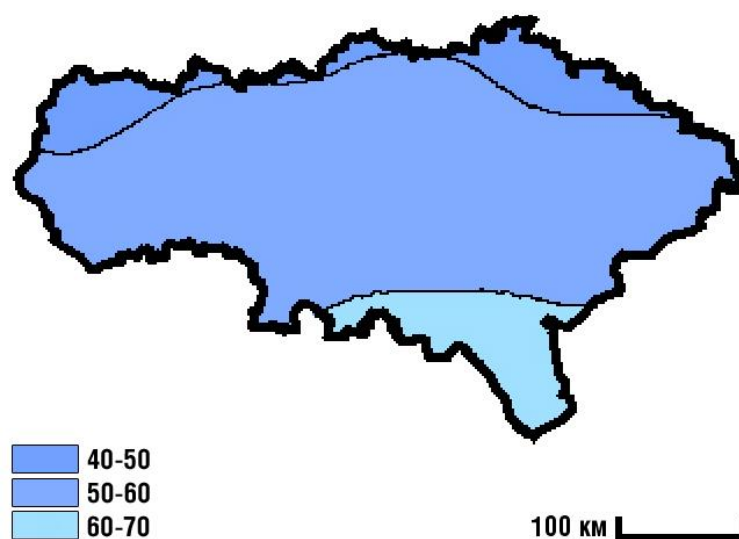
Приложение В.5- Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в май 2018 года (составлено автором)



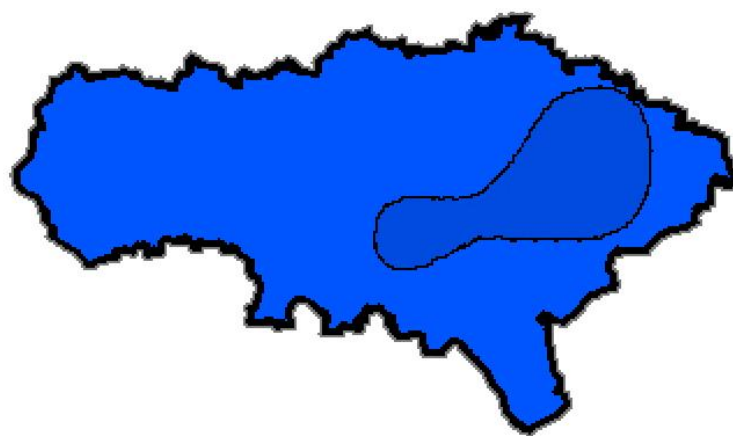
Приложение В.6 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в сентябрь 2018 года (составлено автором)



Приложение В.7 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в июль 2018 года (составлено автором)



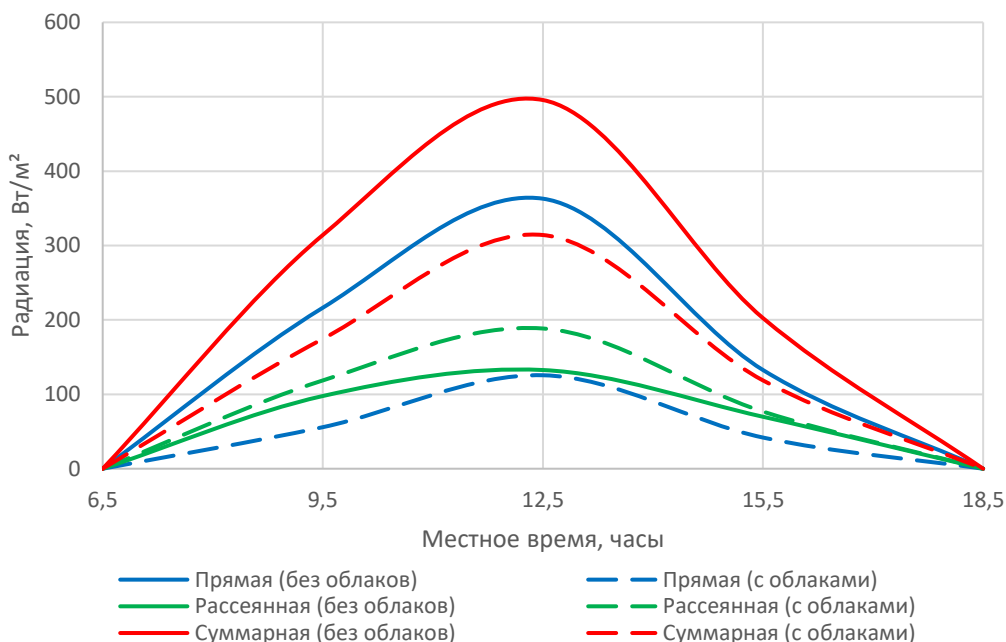
Приложение В.8 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в ноябре 2018 года (составлено автором)



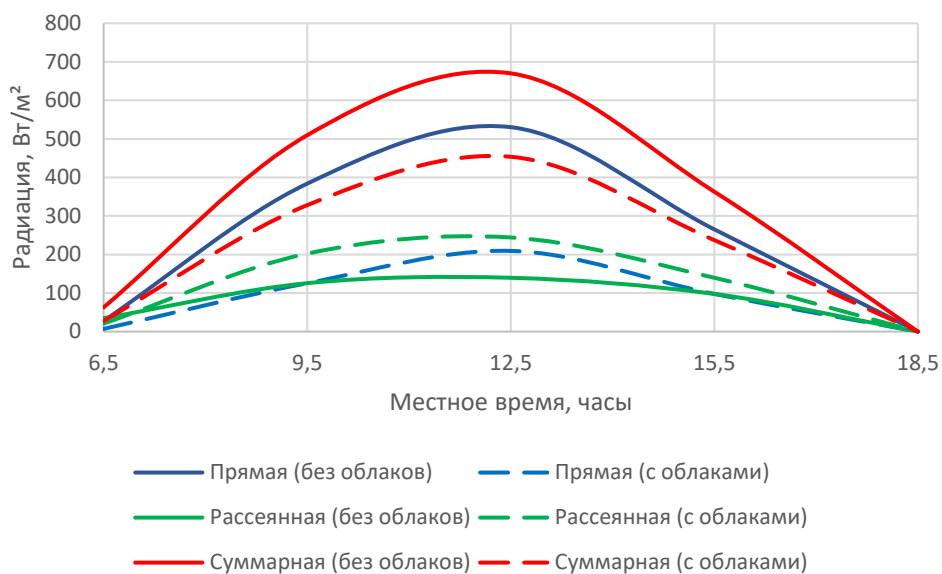
100 км

Приложение В.9 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в декабрь 2018 года (составлено автором)

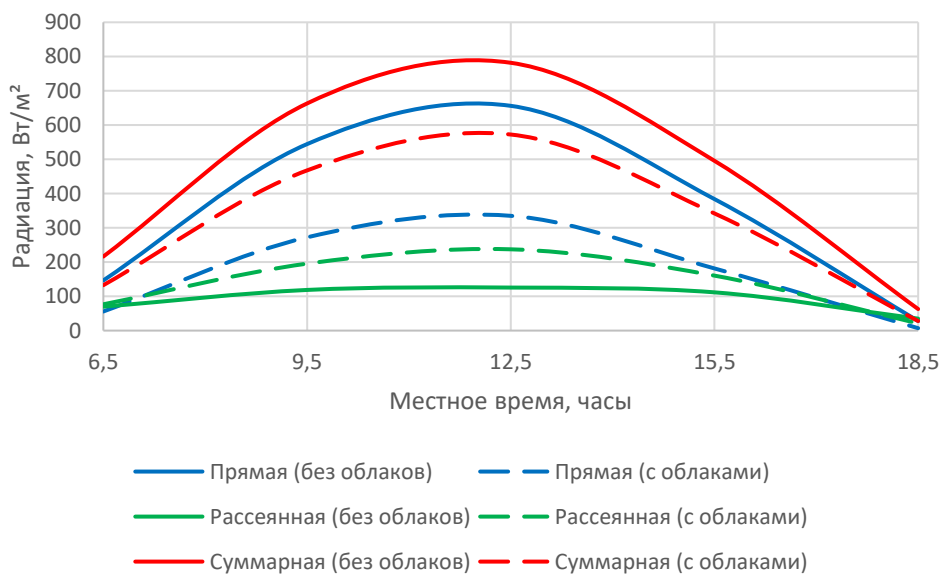
ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Суточное распределение солнечной радиации в Саратове



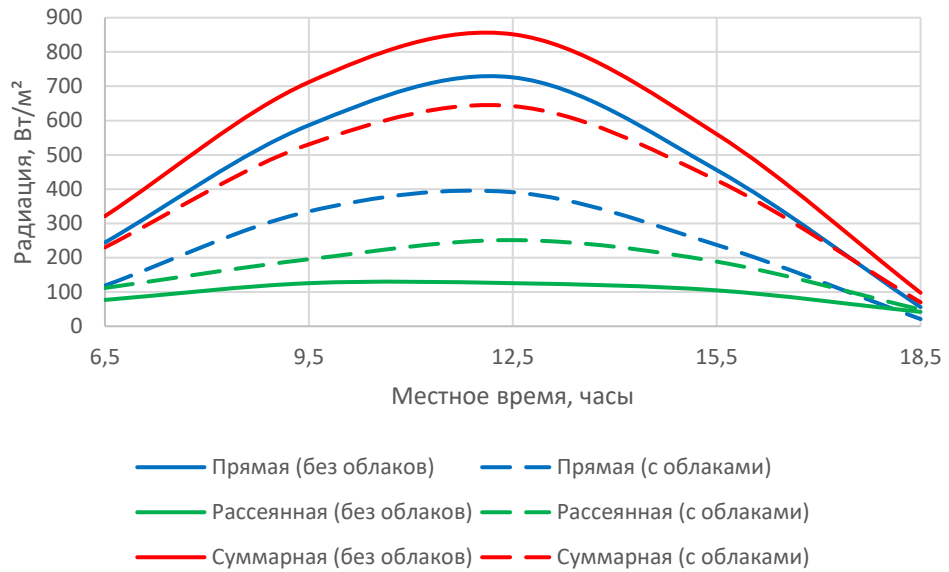
Приложение Г.1 – Суточное распределение различных видов солнечной радиации в г. Саратове в феврале (составлено автором)



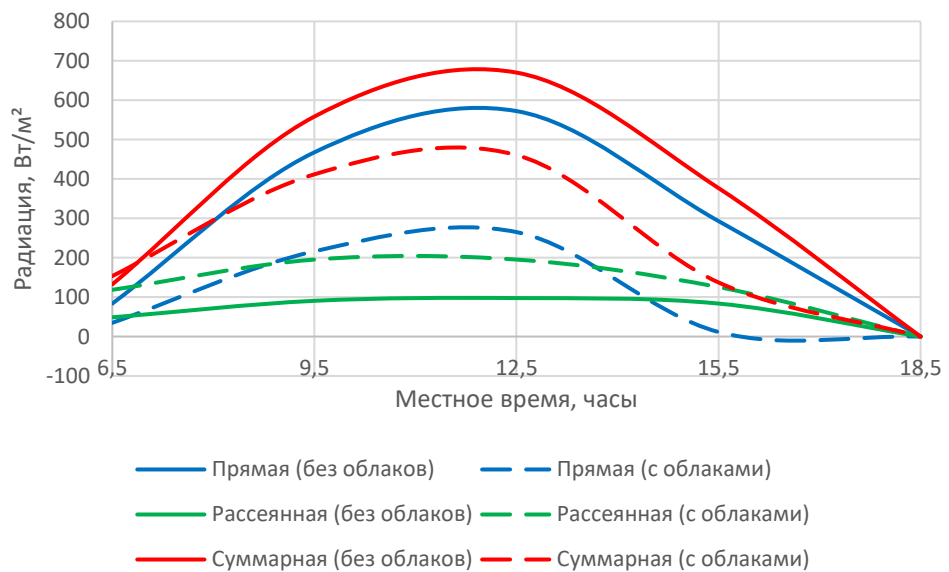
Приложение Г.2 – Суточное распределение различных видов солнечной радиации в г. Саратове в марте (составлено автором)



Приложение Г.3 – Суточное распределение различных видов солнечной радиации в г. Саратове в апреле (составлено автором)

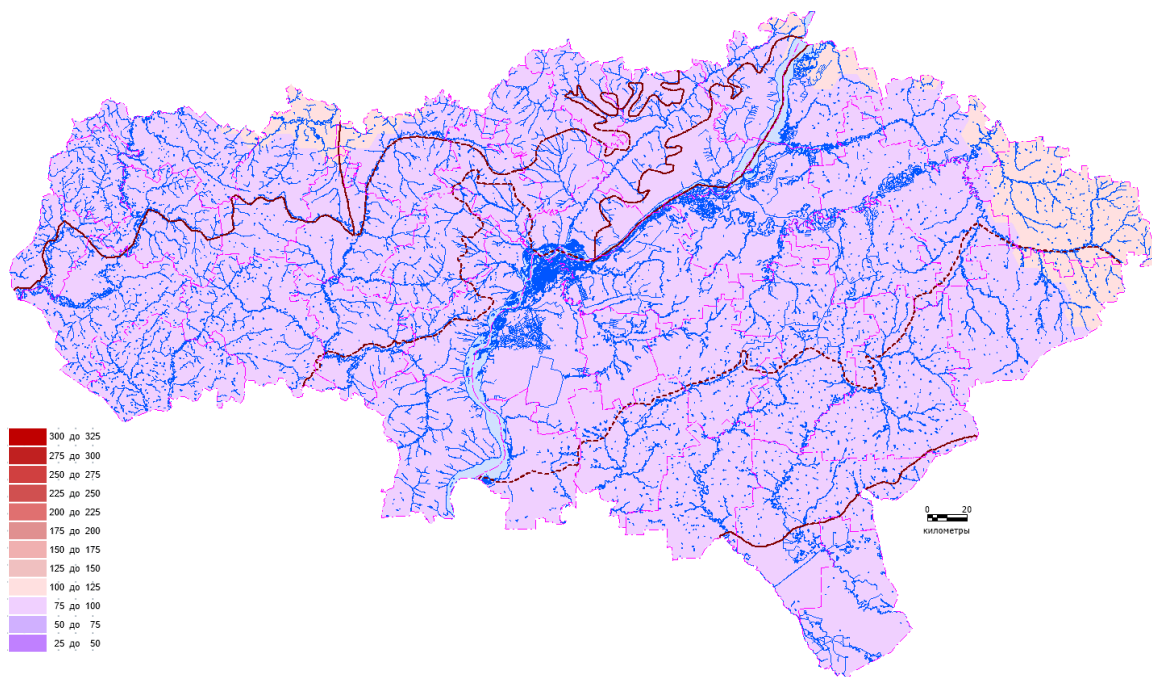


Приложение Г.4 – Суточное распределение различных видов солнечной радиации в г. Саратове в мае (составлено автором)

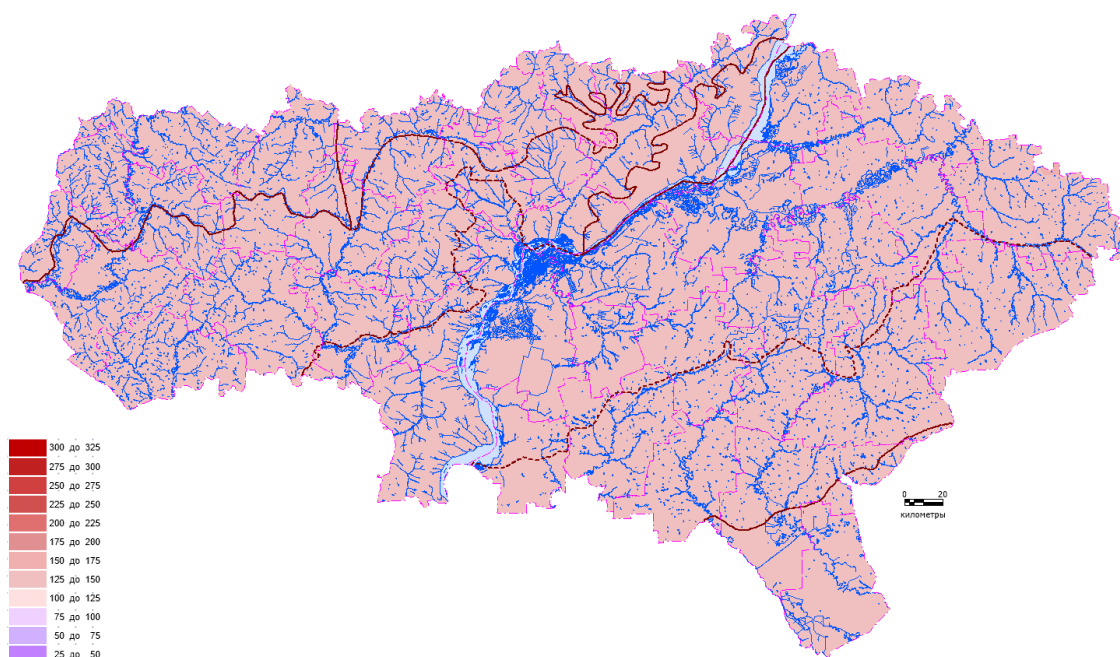


Приложение Г.5 – Суточное распределение различных видов солнечной радиации в г. Саратове в сентябре (составлено автором)

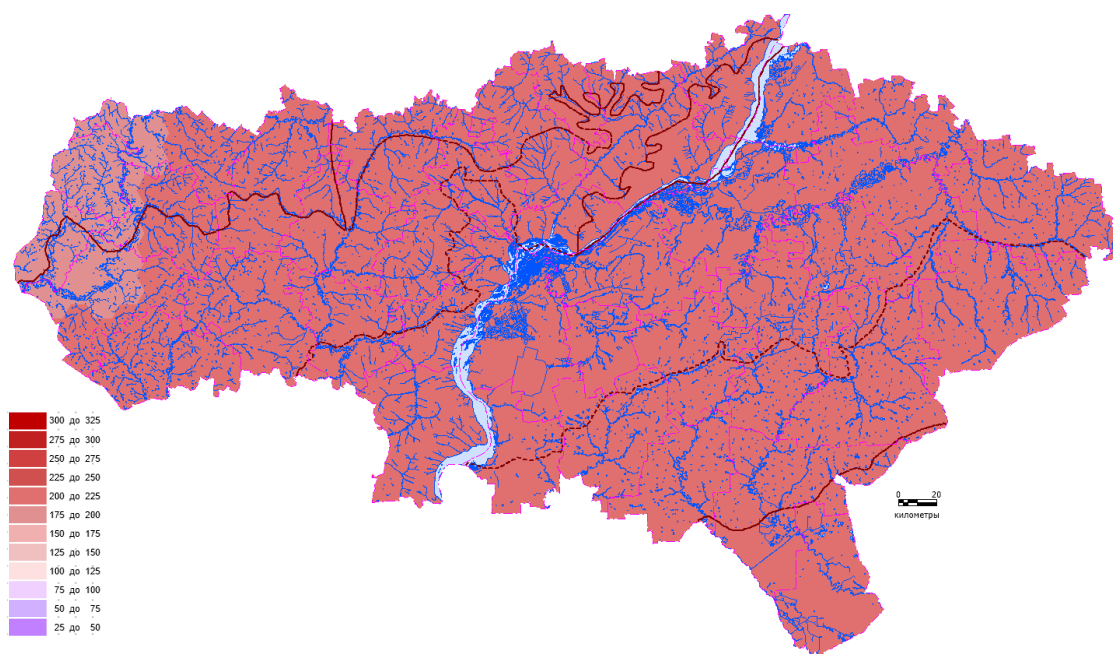
**ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Карты многолетних средних значений
суммарной солнечной радиации на территории Саратовской
области с 2007 по 2019 года**



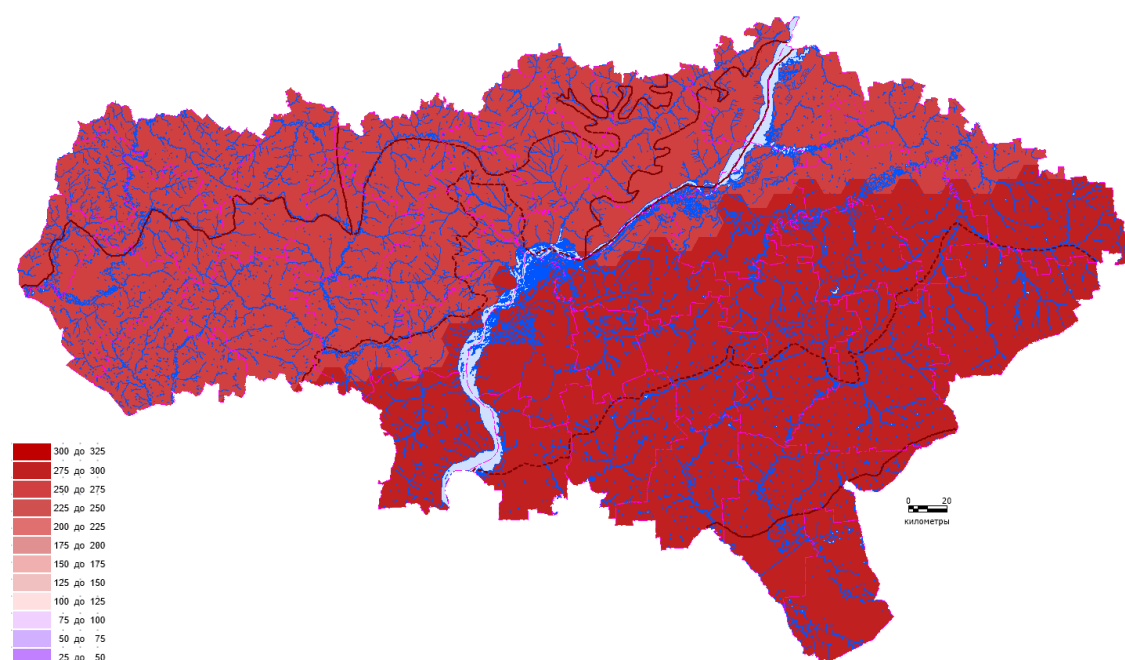
Приложение Д.1 – Среднее значение суммарной солнечной радиации
(ватт/м²) за февраль на территории Саратовской области (период с 2007 по
2019 гг.) (составлено автором)



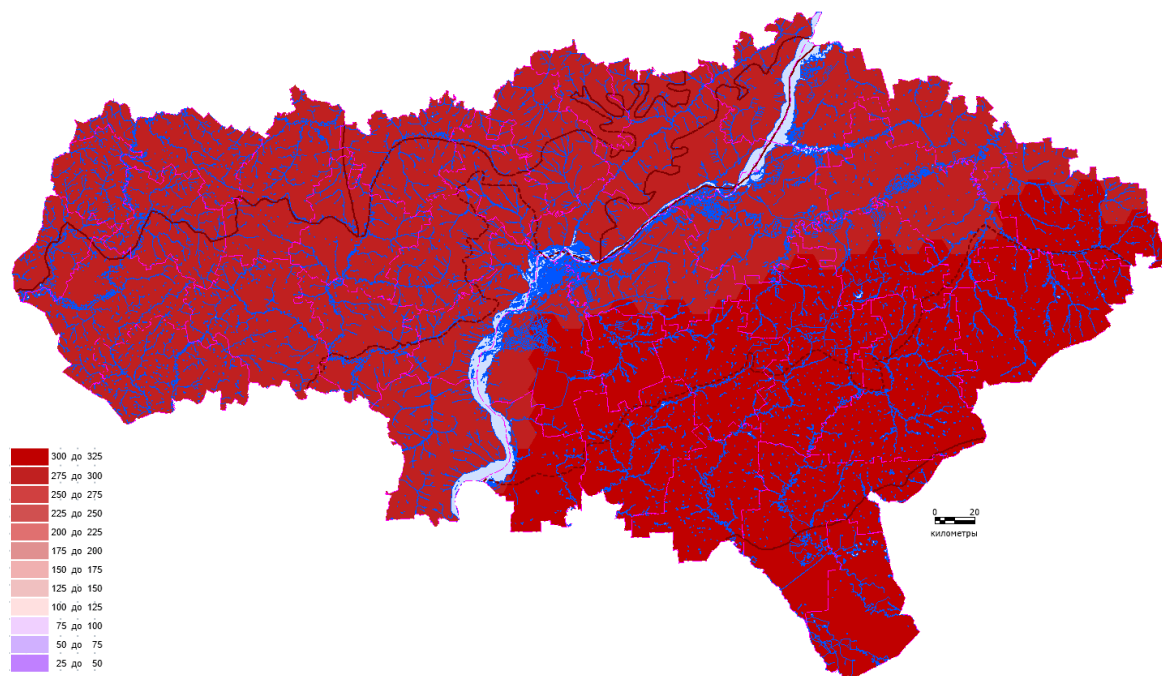
Приложение Д.2 – Среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) за март на территории Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)



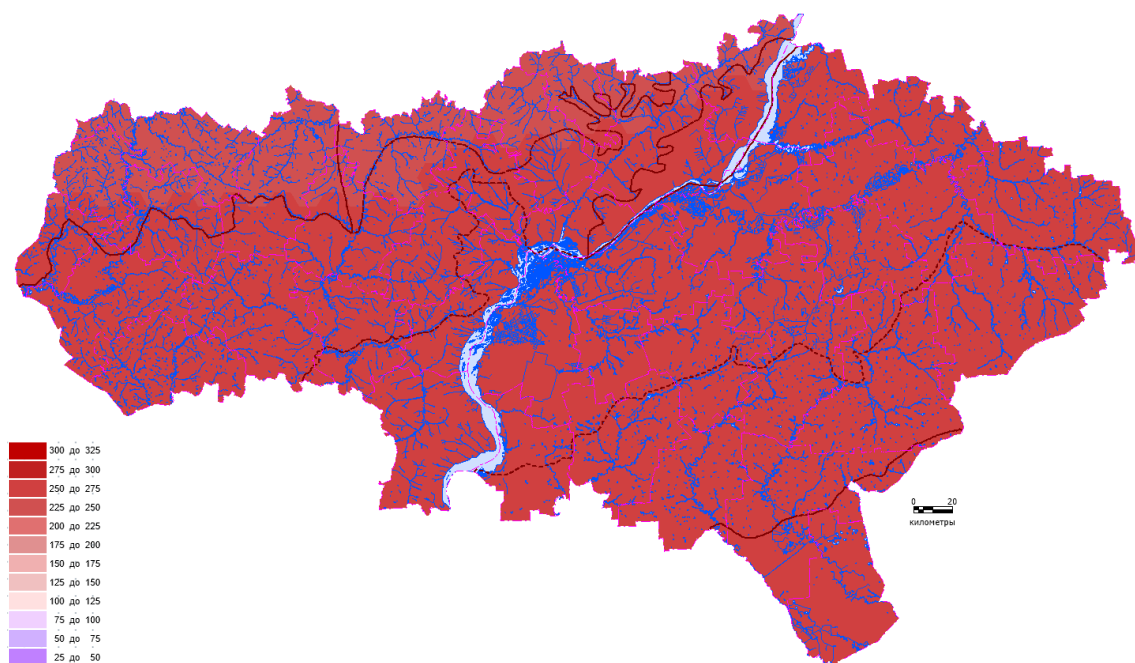
Приложение Д.3 – Среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) за апрель на территории Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)



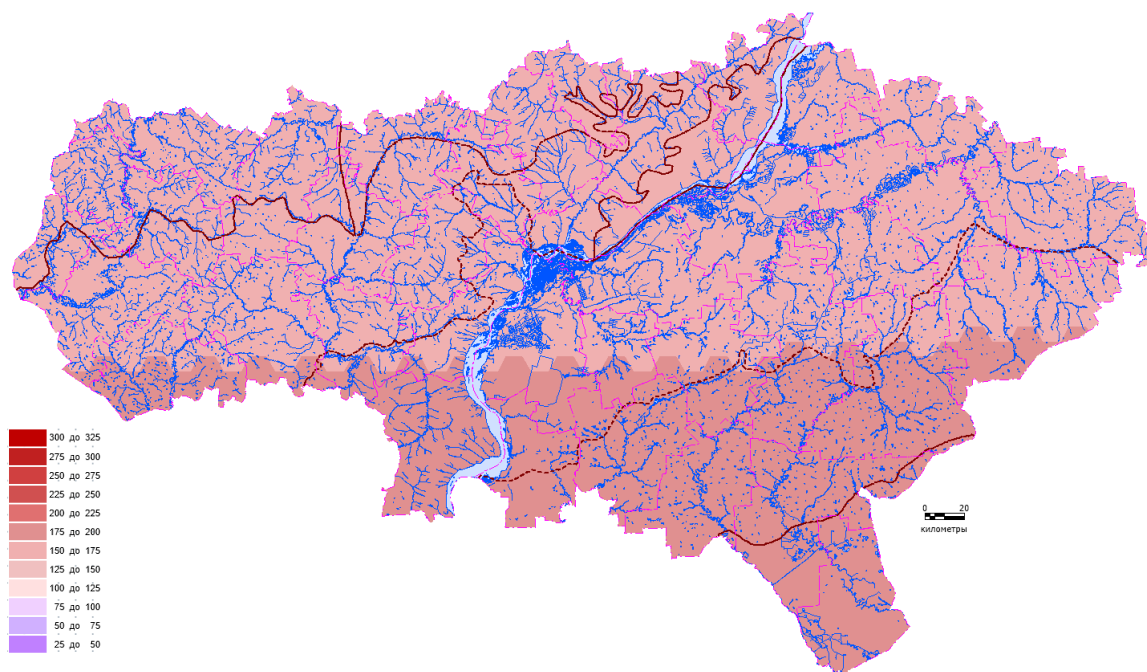
Приложение Д.4 – Среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) за май на территории Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)



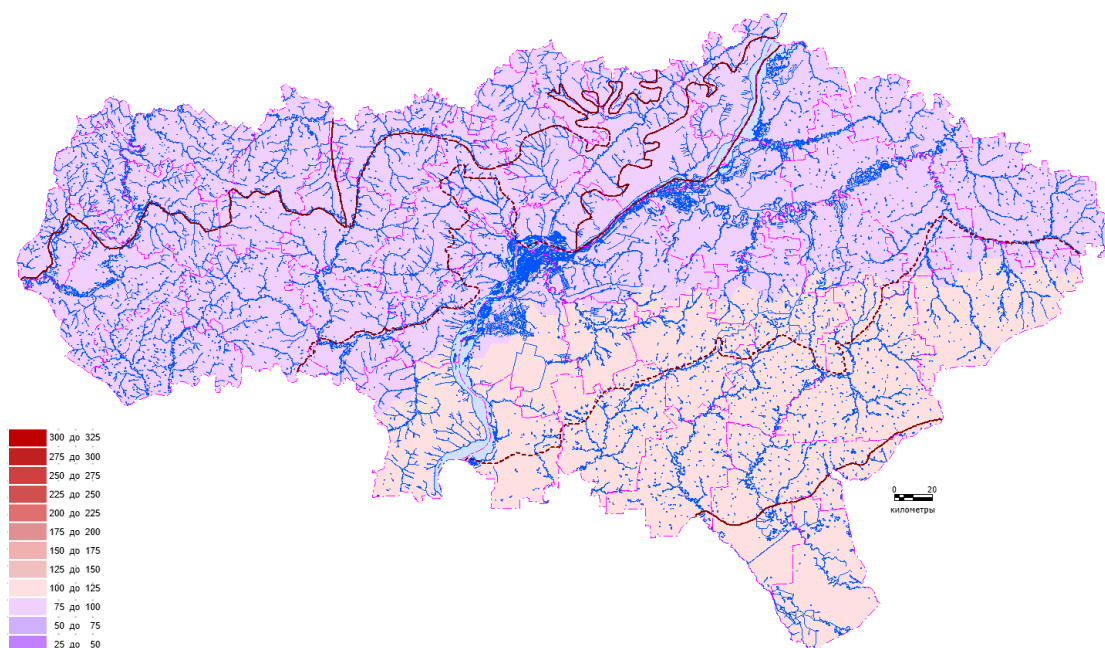
Приложение Д.5 – Среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) за июль на территории Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)



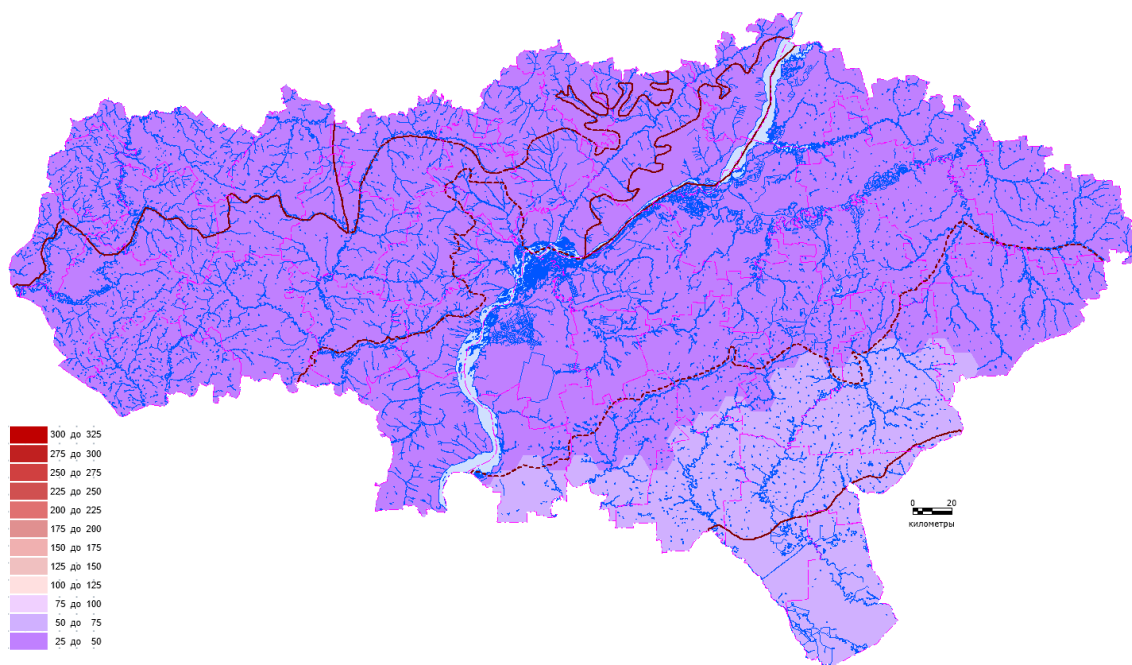
Приложение Д.6 – Среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) за август на территории Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)



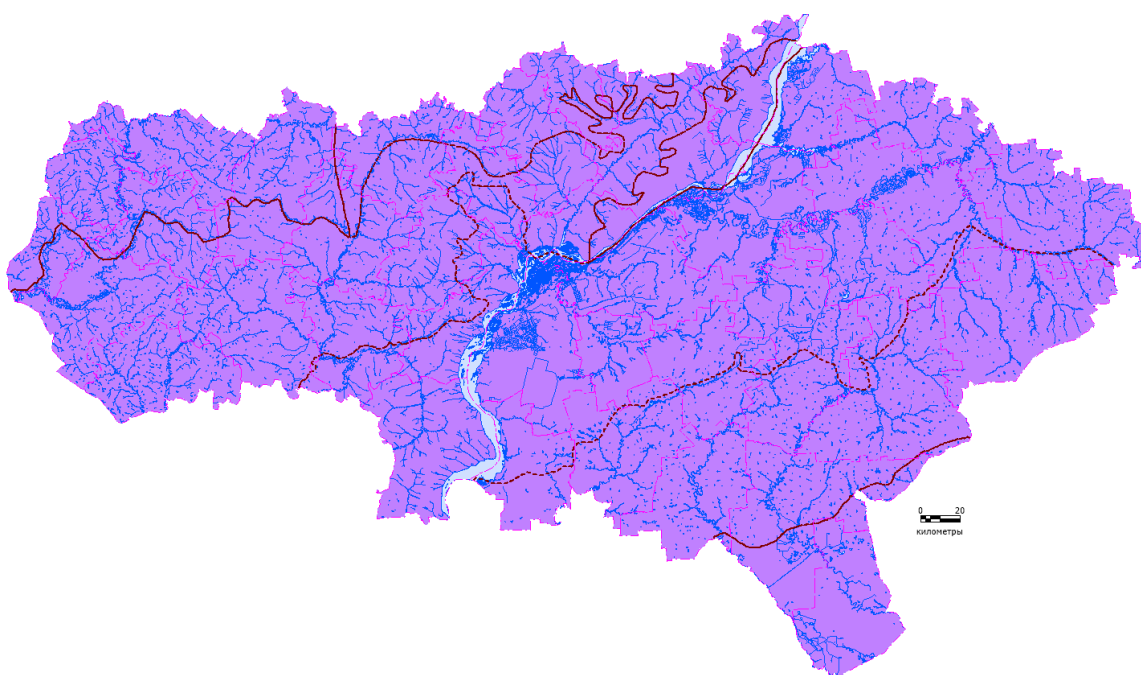
Приложение Д.7 – Среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) за сентябрь на территории Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)



Приложение Д.8 – Среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) за октябрь на территории Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)



Приложение Д.9 – Среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) за ноябрь на территории Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)



Приложение Д.10 – Среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) за декабрь на территории Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)