

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

Кафедра метеорологии и климатологии

**Учет метеорологических факторов в целях развития солнечной
энергетики в Саратовском Заволжье**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 215 группы

направления 05.04.05 Прикладная гидрометеорология

 географического факультета

 Нейштадт Якова Андреевича

Научный руководитель,

зав. кафедрой, к.г.н. доцент _____

 М.Ю.Червяков

Зав.кафедрой,

доцент, к.г.н. _____

 М.Ю.Червяков

Саратов 2023

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.

Основными задачами магистерской работы являлись изучение методов и средств измерения потоков солнечной радиации, оценка радиационного режима территории Нижнего Поволжья, выявление территорий благоприятных для развития гелиоэнергетики, а также учет метеорологических факторов в целях развития солнечной энергетике в Саратовском Заволжье.

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: 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.

В магистерской работе обсуждались вопросы оценки климатических условий для решения задач солнечной энергетики, особенностей 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.

Основное содержание работы

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

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. 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.

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. Сохранить многолетние ряды значений РБ в пунктах, где закончились его непосредственные измерения, но ведутся наблюдения за другими радиационными характеристиками, возможно с помощью расчетных методов.

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), а также данные другого спутникового проекта NASA - CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System). 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.

2 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.

В магистерской 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. 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.

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

Основной проблемой гелиоэнергетики является высокие финансовые риски, снизить которые помогут прорывные технические решения и широкое распространение солнечных энергетических установок. 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 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 рисунку 3, который иллюстрирует карту распределения суммарной радиации на территории Саратовской области, величина этой радиации характеризуется существенной пространственной изменчивостью.

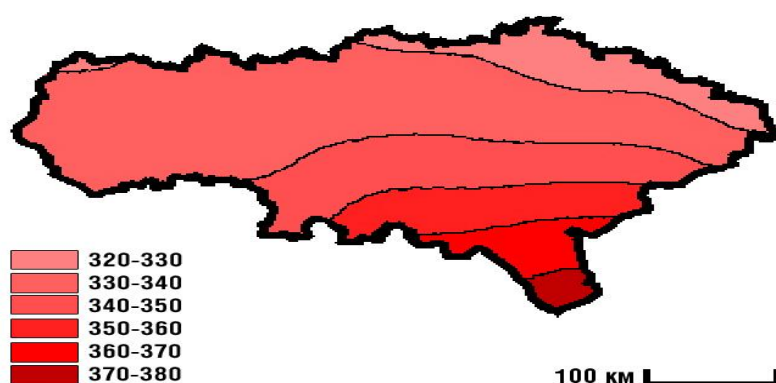


Рисунок 3 - Карта распределения суммарной солнечной радиации по территории Саратовской области по данным спутникового проекта CERES в июне 2018 года (составлено автором)

Южные районы можно с полным правом отнести к солнечным регионам. Здесь приход солнечной радиации в зимние месяцы 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 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 .

4 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. 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.

На рисунке 4 представлен весь период измерений продолжительности солнечного сияния по данным ВНИИГМИ-МЦД для пунктов Саратовской области - Ершова, Октябрьского городка, Саратова и Росташи. 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 Росташи также в 1996 году – 202 часа. Минимум для всей Саратовской области наблюдался в городе Росташи 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.

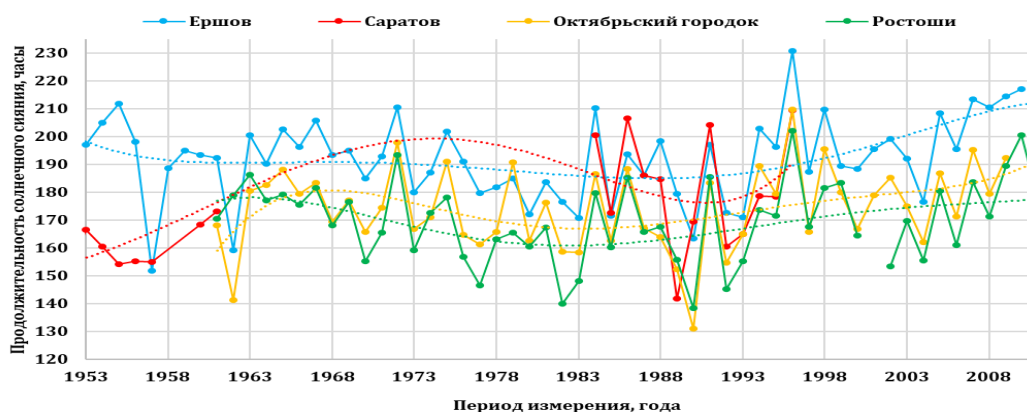


Рисунок 4 – Среднегодовые значения продолжительности солнечного сияния для пунктов Ершов, Октябрьский городок, Саратов и Росташи (составлено автором)

5 Карты многолетних средних значений суммарной солнечной радиации на территории Саратовской области.

Чтобы закрепить выводы сделанные в главе 3, были построены карты многолетних средних значений суммарной солнечной радиации на территории Саратовской области. Для этого нами был выбран весь период измерений прибора CERES, а именно с 2007 года по 2019 год. Далее в программе MapInfo12 мы усреднили значения каждого месяца за весь период измерений, тем самым получив многолетние среднемесячные карты прихода прямой солнечной радиации.

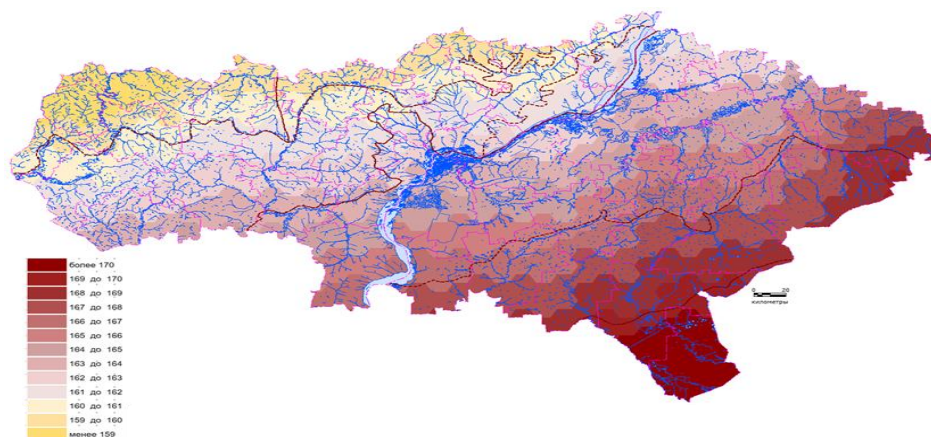


Рисунок 5 – Многолетнее среднее значение суммарной солнечной радиации (ватт/м²) по ячейкам на территорию Саратовской области (период с 2007 по 2019 гг.) (составлено автором)

Как видно на рисунке 5 наблюдается зональный ход, высокие значения прямой солнечной радиации наблюдаются в летние месяцы, максимальные значения в июне. Наиболее благоприятным районом для установки гелиоэнергетических панелей является Алгаевский район – среднегодовые значения тут достигают 170 Вт/м².

6 Дополнительный анализ метеорологических параметров с использованием ПО

Точная оценка энергетического потенциала объектов возобновляемой энергетики возможны при условии обязательного учета локальных климатических особенностей, таких как: облачность, снеговой покров, температура окружающей среды, поверхностное загрязнение, вызванные пылевыми фракциями и переносом аэрозолей, скорость ветра, а также выпадение жидких осадков.

Для дополнительного анализа метеорологических параметров, влияющих на солнечную энергетику, нами была написана программа обработки и анализа гидрометеорологической информации «Вектор», позволяющая получать и визуализировать архивные данные погоды, предоставляемые сайтом «Погода и климат».

При дополнительном анализе метеорологических условий для развития гелиоэнергетики в Саратовской области были изучены изменения метеорологических параметров в населённых пунктах Александров Гай, Новоузенск, Озинки, Ершов, Красный Кут, Перелюб и Пугачев.

С помощью программы «Вектор» были получены архивные данные основных метеорологических параметров в период с 2011 по 2022 гг. После этого была произведена визуализация метеопараметров, осреднённых за сутки (8 сроков), влияющих на гелиоэнергетику – температура воздуха, количества осадков и высота снежного покрова, скорость и направление ветра, а также количество облачности.

Рассмотренные пункты имеют почти идентичные значения и временной ход (либо разница в данном случае не имеет принципиального значения) по таким параметрам как температура воздуха, облачность, с незначительными колебаниями, количество осадков и высота снега. Несмотря на это мы можем вывести наиболее перспективный пункт для размещения солнечных электростанций на основе данных о направлении и скорости ветра.

Заключение

В результате проведенного анализа были раскрыты некоторые особенности поступления солнечной энергии в Саратовской области. Достаточно высокое значение коэффициента корреляции (0,99) для Саратова 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 результате сравнения показателей годовой суммы солнечного сияния и значений облачного покрытия была выявлена хорошая обратная зависимость, также хорошие показатели корреляции, составляющие в среднем $-0,8$.

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.

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.

Помимо этого, на основе дополнительного анализа метеорологических параметров важных для гелиоэнергетики были выведены наиболее перспективные пункты для развития солнечной энергетики, а именно Новоузенск и Пугачев.