

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКИ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Невидимова О.Г.<sup>1</sup>, Янкович Е.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия (634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3), e-mail: olga-nevidimova@mail.ru*

<sup>2</sup>*Томский политехнический университет, Томск, Россия (634050, г. Томск, Россия, пр. Ленина, 30) e-mail: yankovich@tpu.ru*

---

В статье обсуждаются вопросы оценки климатических условий для решения задач солнечной энергетики, особенности пространственно-временного распределения показателей режима излучения на территории Западной Сибири. В качестве основных показателей рассматриваются суммарная солнечная радиация, продолжительность солнечного сияния, количество ясных дней. На основе многолетних данных для Западной Сибири исследована их сезонная и территориальная изменчивость. В результате проведенного анализа были раскрыты некоторые особенности поступления солнечной энергии в регионе. Выполненное районирование исследуемой области с использованием платформы ARCGis 10.2 на основе обобщения актинометрической и метеорологической 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 гелиоресурса на исследуемой территории, целесообразно внедрения гелиоустановок в структуру энергопотребления населенных пунктов Западной Сибири.

---

Ключевые слова: солнечная энергия, суммарная солнечная радиация, продолжительность солнечного сияния, гелиоустановка, Западная Сибирь

## THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE SOLAR INDUSTRY DEVELOPMENT IN WESTERN SIBERIA

Nevidimova O.G.<sup>1</sup>, Yankovich E.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia (634055, Tomsk, Akademicheskyy Av.,10/3) e-mail: olga-nevidimova@mail.ru*

<sup>2</sup>*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Russia, Lenin Av.,30) e-mail: yankovich@tpu.ru*

---

The article discusses the assessment of climatic conditions for the solution of problems of solar energy, especially spatial and temporal distribution of the radiation regime on the territory of Western Siberia. The main indicators are considered total solar radiation, duration of sunshine, the number of clear days. Based on long-term data for Western Siberia, studied their seasonal and spatial variability. The analysis revealed some peculiarities of the income of solar energy in the region. Complete zoning study area using the ARCGis platform on the basis of generalization meteorological information allowed to differentiate the territory for the characteristics of the radiation regime. Concluded, that, despite the significant spatial and temporal heterogeneity of gellioresursa on the investigated area, it is advisable to introduce solar power plants in the energy structure of settlements in Western Siberia.

---

Keywords: solar energy, total solar radiation, duration of sunshine, the solar power plant, Western Siberia

Среди нетрадиционных источников энергии самым распространенным и перспективным является использование солнечной радиации для получения электрической и тепловой энергии. Ресурсы солнечной энергии настолько велики, что использование 1% площади такого солнечного места, как пустыня Сахара, достаточно, чтобы удовлетворить мировую потребность в электроэнергии. Гелиоэнергетика на данный момент вырабатывает около 2% всего электричества. По оптимистичным прогнозам к 2030 году сгенерированная на основе солнечного излучения энергия сможет обеспечить 25% потребностей человечества в электричестве. Основной проблемой гелиоэнергетики является высокие финансовые риски,

снизить которые помогут прорывные технические решения и широкое распространение солнечных энергетических установок. Когда в Японии и Германии активно закрываются АЭС, а США приостанавливают выдачу лицензий на постройку новых ядерных реакторов, при этом энергетики Германии сообщают, что четверть энергии они получают из возобновляемых источников, шансы гелиотехнологий занять лидерские позиции стремительно увеличиваются. Россия по масштабам развития солнечной энергетики значительно уступает многим странам, несмотря на имеющиеся ресурсы и инновационные разработки. В то же время большая часть населения России, в том числе и Сибири, не имеет централизованного энергоснабжения. Так, на 40% территории Томской области энергоснабжение потребителей осуществляется с помощью автономных энергоустановок, работающих на привозном топливе или с использованием местного сырья (древесное топливо, торф и т.д.). 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 обширной равнинной поверхности Западной Сибири, характеризующейся четкой зональностью природных явлений, обусловленной, в том числе, и особенностями широтной дифференциации прихода солнечной радиации, исследование условий для развития гелиоэнергетики актуально и с точки зрения доступности энергоресурса, и с точки зрения минимизации вредного воздействия на окружающую среду.

### **Материалы и методы**

Для характеристики, поступающей на территорию солнечной радиации, используются следующие показатели: суммы прямой и суммарной радиации, их изменчивость в разные временные интервалы в условиях ясного и пасмурного неба; продолжительность солнечного сияния, его изменчивость; непрерывная продолжительность солнечного сияния выше указанного уровня; число дней без солнца; повторяемость облачности разных градаций [1, 2, 3]. 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. В основу исследования положены многолетние данные по 37 метеостанциям, ведущим актинометрические наблюдения, среди которых 17 оценивают только продолжительность солнечного сияния. Поэтому для характеристики суммарной радиации в этих районах Западной Сибири применяются интерполяционные методы расчета на основе данных гелиографа и общей облачности [4, 5]. Наличие такой климатической информации позволяет выполнить достаточно детальный анализ влияния реальных местных климатических условий на работу солнечных установок. На следующем этапе проводится районирование территории с использованием платформы ARCGis 10.2 на основе обобщения актинометрической и метеорологической информации, отражающей как долгосрочный режим поступления солнечной радиации, так и его изменчивость. Это позволяет дифференцировать территорию по особенностям радиационного режима.

### **Результаты и обсуждение**

Суммарная солнечная радиация, поступающая территорию Западной Сибири, характеризуется существенной пространственной и сезонной изменчивостью. Южные районы Сибири можно с полным правом отнести к солнечным регионам (рис.1). Здесь годовой приход солнечной радиации при ясном небе (максимальное поступление солнечной энергии на данной широте) колеблется от 4100 МДж/м<sup>2</sup> (Омск) до 5700 МДж/м<sup>2</sup> (Кош-Агач). Среднегодовое число пасмурных дней на юге Западной Сибири в 2,6 раза меньше, чем в европейской части России на соответствующих широтах. Центральная часть Западной Сибири характеризуется довольно высокими значениями прямой радиации: летом день продолжительный, интенсивность лучистого потока резко возрастает в часы до полудня, затем в течение дня понижение потока солнечной радиации происходит плавно. Однако существенным ограничением широкого использования солнечной энергии является большая повторяемость облачных дней: из-за сосредоточения путей циклонов в низовьях реки Чулым

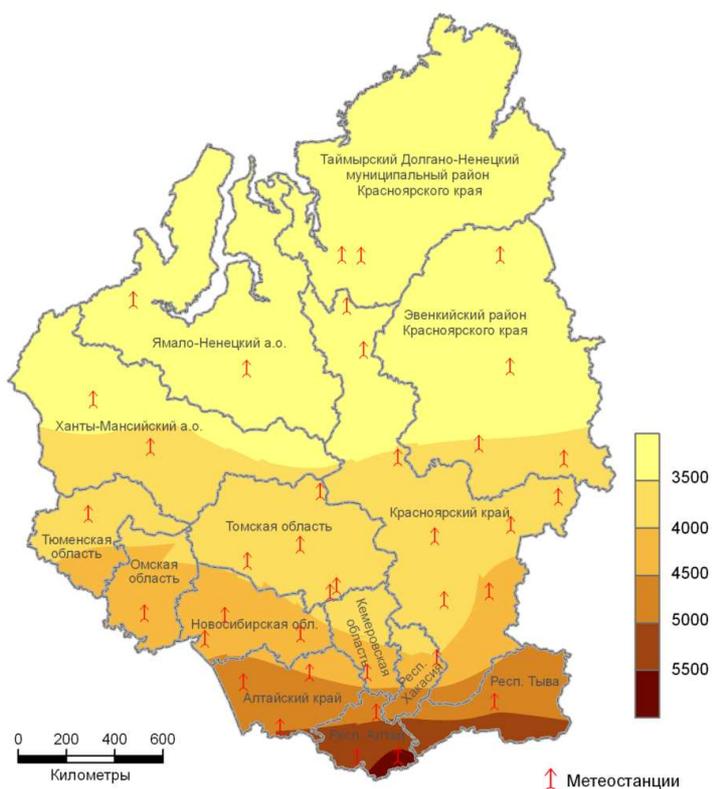


Рис.1. Суммарная радиация (год / МДж/м<sup>2</sup>)

количество солнечной энергии, поступающее в район летом, обусловленное значительной продолжительностью дня, определяет возможность локального использования гелиоустановок в энергосодержании зданий. Наиболее благоприятный период для функционирования гелиоустановок – май-июль, когда ежедневная суммарная радиация

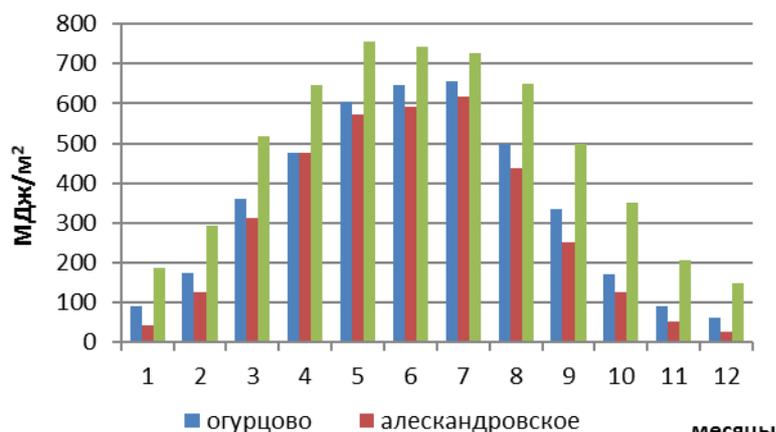


Рис. 2. Годовой ход суммарной радиации

летом вся зона тайги долгое время может находиться в области циклональных полей. Это вызывает существенное ослабление солнечной радиации. В результате значительная облачность, характерная для центральной части Западной Сибири, снижает плотность солнечной энергии, годовой приход суммарной радиации уменьшается от максимального при ясном небе в среднем на 30%. Север Западной Сибири – огромные территории с низкой плотностью населения – характеризуется относительно невысоким среднегодовым уровнем инсоляции. Однако большое

количество солнечной энергии, поступающее в район летом, обусловленное значительной продолжительностью дня, определяет возможность локального использования гелиоустановок в энергосодержании зданий. Наиболее благоприятный период для функционирования гелиоустановок – май-июль, когда ежедневная суммарная радиация составляет 22,2 – 23,6 МДж/м<sup>2</sup>. В центральных и южных районах Западной Сибири максимальные суммы суммарной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, приходятся на период с апреля по август (рис. 2). С сентября по ноябрь быстрая убыль суммарной радиации для северных и центральных станций (в среднем на 38% ежемесячно)

обусловлена существенным снижением высоты солнца, уменьшением продолжительности дня, интенсификацией циклонической деятельности. Минимум приходится на декабрь, когда

на севере полярная ночь, а на юге количество солнечной энергии едва переваливает за 100 МДж/м<sup>2</sup>. В феврале-марте происходит резкий рост суммарной радиации, как из-за быстрого увеличения высоты солнца, так и из-за уменьшения общей и нижней облачности.

Следующий важный показатель режима излучения – это продолжительность солнечного сияния, поскольку негативным фактором в работе гелиоустановок является прерывистость получения солнечной радиации, из-за которой теряется значительная часть энергии. Большая протяженность территории Западной Сибири объясняет существенное различие в величине лучистой энергии, поступающей на поверхность. Количество ясных дней изменяется от 117 (ст. Салехард) на севере до 346 на юге (ст. Кош-Агач, Горный Алтай) (рис.3).

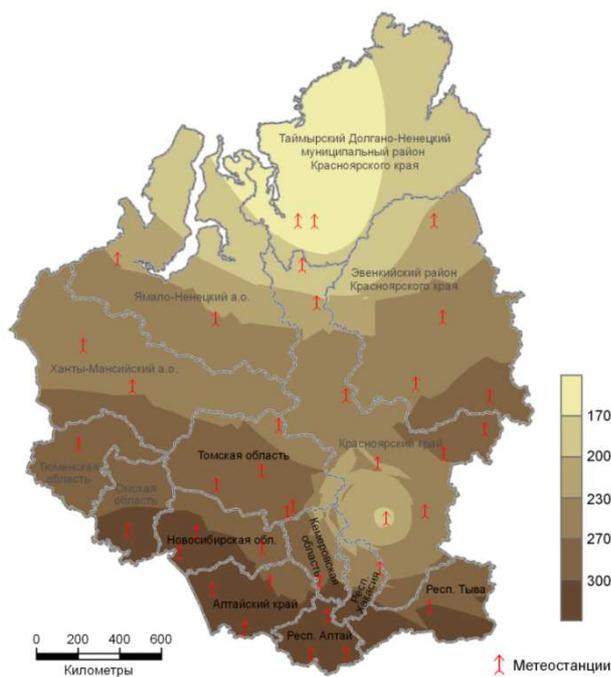


Рис.3. Количество ясных дней (день/год)

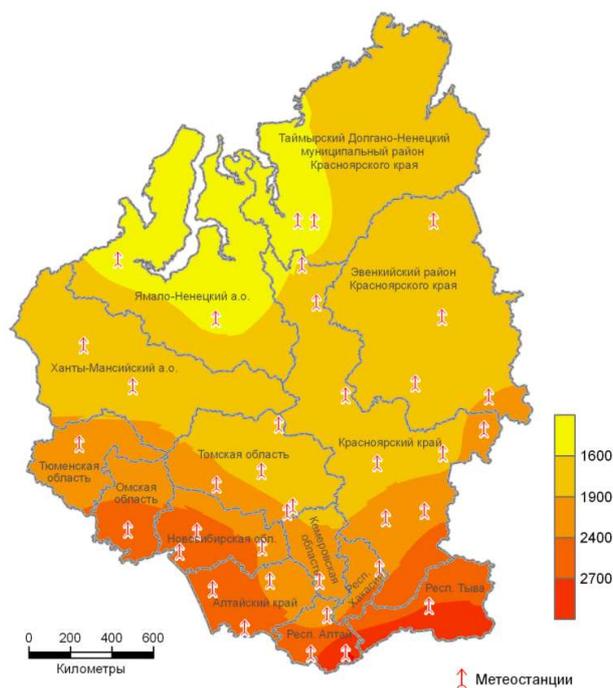


Рис.4. Продолжительность солнечного сияния (час/год)

Наибольшее число солнечных дней приходится на период с марта по август с максимумом в июне-июле. Эффективность использования гелиоустановки обеспечивается в том случае, когда годовое количество ясных дней более 200. По этому критерию на 67% территории Западной Сибири целесообразна эксплуатация солнечных энергетических установок. Годовая продолжительность солнечного сияния варьируется от 1500 до 2700 часов (рис. 4). Наибольшая продолжительность солнечного сияния отмечается в широких плоских межгорных котловинах Алтая и Тывы. Высокими значениями солнечного сияния характеризуются районы юго-запада Алтайского края, южные районы Новосибирской и Омской областей, большая часть территория Тывы и Хакассии. В тоже время в центральных районах Западной Сибири реальная продолжительность солнечного сияния за год составляет

39% - 43% от возможной. Здесь повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния более 6 часов в летние месяцы в среднем 38%; это неплохие условия для работы солнечных энергосистем.

Широтное распределение количества солнечных дней и продолжительности солнечного сияния по территории Западной Сибири осложняется мезо- и микроклиматическими особенностями местности; это вносит существенные изменения как в возможность, так и в условия использования гелиоресурса. Чаще всего зональность нарушается именно в теплые месяцы, в апреле-августе. Это связано с высотой солнца, региональными закономерностями формирования облачности, прозрачностью атмосферы, изменениями отражательной способности подстилающей поверхности, наличием крупных водоемов. И тогда, например, на севере региона максимальная продолжительность работы гелиоустановки может достигать 10 часов в день при ясном небе.

### **Заключение**

Проведенные исследования позволяют детализировать климатические условия освоения одного из самых масштабных возобновляемых энергетических ресурсов Западной Сибири. Теоретический потенциал солнечной энергетики в Западной Сибири огромен и составляет более  $9 \cdot 10^{11}$  тонн условного топлива. В тоже время из-за географического расположения территории – между  $70^{\circ}$ с.ш. и  $50^{\circ}$ с.ш. – уровень солнечной радиации значительно варьируется. Так, энергетическая освещенность поверхности при ясном небе за летние месяцы в крайне северных районах не превышает  $263$  кВт-час/ $m^2$ , а на юге региона достигает  $446$  кВт-час/ $m^2$ . Существенны также и сезонные колебания: на широте Норильска инсоляция в январе минимальная и составляет  $0,0$  кВт-час/ $m^2$ , а в мае максимальная –  $7,25$  кВт-час/ $m^2$  в день. Подобную тенденцию в сезонной динамике суммарной радиации демонстрируют и южные области, но период активного использования солнечной энергии здесь значительно больше. На территории наиболее перспективных районов (в первую очередь, это Чуйская, Курайская степь, Бертекская котловина) возможно создание крупных гелиосистем, которые глобально решат вопрос снабжения энергией. Гибридные же гелиоустановки, функционирующие в автономном режиме, актуальны для лесостепного района Западной Сибири. В таёжной и лесоболотной зоне существует потенциальная возможность для применения небольших установок с использованием энергии солнца и ветра, рассчитанных на выполнение локальных задач.

Таким образом, 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.

## Список литературы

1. Кондратьев К.Я. Актинометрия.- Л.: Гидрометеоздат, 1965.- 690 с.
2. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. М.: Энергоиздат, 1982. – 78 с.
3. Рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик. Л., Гидрометеоздат, 1997. - 76 с.
4. Сивков С.И. Методы расчёта характеристик солнечной радиации. – Л., 1968. 323 с.
5. Пивоварова З.И. Радиационные характеристики климата СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1977. - 335 с.
6. Природные ресурсы Томской области/ А.Г. Дюкарев [и др.] – Новосибирск: Наука, 1991.- 176 с.

### Рецензенты:

Строкова Л.А., д.г.-м.н., профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Дюкарев А.Г., д.г.н., заведующий отделением экологических исследований, Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск.