

# ВВЕДЕНИЕ

Освоение экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является стратегической задачей, определяющей перспективы устойчивого развития многих стран, а также удаленных от сетей централизованного энергоснабжения регионов в условиях постепенного истощения дешевых запасов ископаемого органического топлива и угрозы все большего антропогенного загрязнения окружающей среды. Многие технологии использования ВИЭ уже сегодня достигли уровня конкурентоспособности и постепенно выходят на рынок, в том числе и российский. Солнечная и ветровая энергия все шире используются для производства электроэнергии, нагрева различных теплоносителей и других энергетических приложений. Точный учет влияния солнечного излучения и ветра на освещенность и энергетический баланс зданий является основой бурно развивающейся энергосберегающей и так называемой «солнечной» архитектуры.

Среди ВИЭ солнечная энергия занимает лидирующее положение. Суммарный поток энергии солнечного излучения, поступающий на поверхность Земли, во много раз превышает мощность действующих в мире энергоустановок, а располагаемые ресурсы солнечной энергии на территориях всех стран, в том числе расположенных в высо-

ких широтах, существенно превышают их энергетические потребности на обозримую перспективу. Большинство других возобновляемых источников энергии – ветер, растительная биомасса, водные потоки и волны – имеют солнечное происхождение: возникновение потоков воздушных масс и кругооборот атмосферной влаги обусловлены неравномерностью нагрева поверхности Земли солнечным излучением, а основой роста растений является фотосинтез.

Солнечная энергия доступна повсеместно. Солнечное излучение исходит от источника с яркостной температурой около  $6000^{\circ}\text{C}$  и с термодинамической точки зрения является высококачественным первичным источником энергии, допускающим принципиальную возможность его преобразования в другие виды энергии (электроэнергия, тепло, холод и др.) с высоким КПД. Однако существенными недостатками солнечной энергии являются ее нестабильность (суточная, сезонная, погодная) и относительно малая плотность энергетического потока (за пределами атмосферы – около  $1,4 \text{ кВт/м}^2$ , на земной поверхности в ясный полдень – около  $1 \text{ кВт/м}^2$ , а в среднем за год с учетом ночей и облачности – от  $0,15$  до  $0,25 \text{ кВт/м}^2$ , что, тем не менее, соответствует ежегодному поступлению на  $1 \text{ м}^2$  земной поверхности энергии, эквивалентной  $150 \dots 250 \text{ кг у.т.}^1$ ).

<sup>1</sup>  $1 \text{ кг у.т.} = 7 \text{ Мкал} \approx 29 \text{ МДж}$

Ветроэнергетический поток является также весьма нестабильным. Располагаемая мощность ветрового потока пропорциональна кубу скорости ветра, что обуславливает чрезвычайно высокую чувствительность производительности ветроэнергетических установок к условиям места их расположения. При скорости ветра 10 м/с удельная мощность ветрового потока составляет около 500 Вт в расчете на 1 м<sup>2</sup> ометаемой лопастями ветроустановки площади, а при скорости 5 м/с эта мощность оказывается в 8 раз меньше. Для сравнения отметим, что удельные энергопотоки в современных энергетических устройствах достигают сотен кВт/м<sup>2</sup>.

Такие особенности солнечного излучения и ветра как первичных источников энергии затрудняют создание эффективных энергетических устройств, поскольку обуславливают необходимость сооружения приемников солнечного излучения и ветроколес большой площади, а также создания аккумуляторов энергии. В результате, несмотря на бесплатность самих источников энергии, стоимость солнечных и ветровых установок оказывается значительной, что снижает их конкурентоспособность по отношению к традиционным энергоустановкам, особенно если последние используют дешевое органическое топливо. В этой ситуации надежность исходных данных о располагаемых ресурсах солнечной и ветровой энергии является одним из определяющих

факторов энергетической и экономической эффективности разработки и практического использования таких установок. Для России с ее громадной территорией и широким набором климатических зон достоверная оценка потенциала солнечной и ветровой энергии в конкретном географическом районе является крайне важной задачей. Только в случае ее решения разработчики и потребители солнечных и ветровых установок будут иметь обоснованную информацию об эффективности работы оборудования, продолжительности его функционирования в течение года, сроках окупаемости, необходимости установки аккумуляторов, дублирующих мощностей и т.д.

На территории СССР была создана одна из самых разветвленных в мире сетей метеорологических станций, на которых велись регулярные актинометрические наблюдения (рис. 1). Были разработаны единые программа и методика обработки и обобщения актинометрической информации, создающие основу для агроклиматического районирования территории страны, строительного проектирования, оценки изменения климата и других хозяйственных и научных целей [1]. В настоящее время число российских метеостанций, ведущих регулярные измерения интенсивности солнечной радиации<sup>2</sup> – менее 130, причем их распределение по террито-

<sup>2</sup> Далее в тексте термин «солнечная радиация» будет употребляться наряду с термином «солнечная энергия» и оба они имеют смысл «энергия солнечного излучения».

рии неравномерно, что не отвечает современным потребностям в оценке ресурсов и не обеспечивает возможности надежного расчета показателей разрабатываемых установок. Нетрудно подсчитать, что при площади территории России 17 млн км<sup>2</sup> среднее расстояние между метеостанциями составляет около 500 км, а с учетом неравномерной плотности их размещения среднее расстояние между станциями в азиатской части России достигает 1000 км. В то же время, по результатам исследований ведущего Российского научного центра в области актинометрии – ГГО им. А.И. Воейкова, – данные измерений с приемлемой погрешностью могут экстраполироваться на расстояние не более 130 км от метеостанции. Ясно, что для получения надежных данных о поступлении энергии солнечного излучения для большей части территории страны имеющаяся в настоящее время сеть российских метеостанций явно недостаточна.

В настоящей работе предпринята попытка создания карт распределения сумм падающего солнечного излучения на территории России, осредненных по различным временным периодам, с учетом требований гелиотехнических разработок. Наряду с данными прямых многолетних измерений солнечной радиации на российских метеостанциях, обобщенными в [1] и ряде известных баз данных (Meteonorm, RetScreen), для обеспечения более плотного покрытия территории России использована база данных

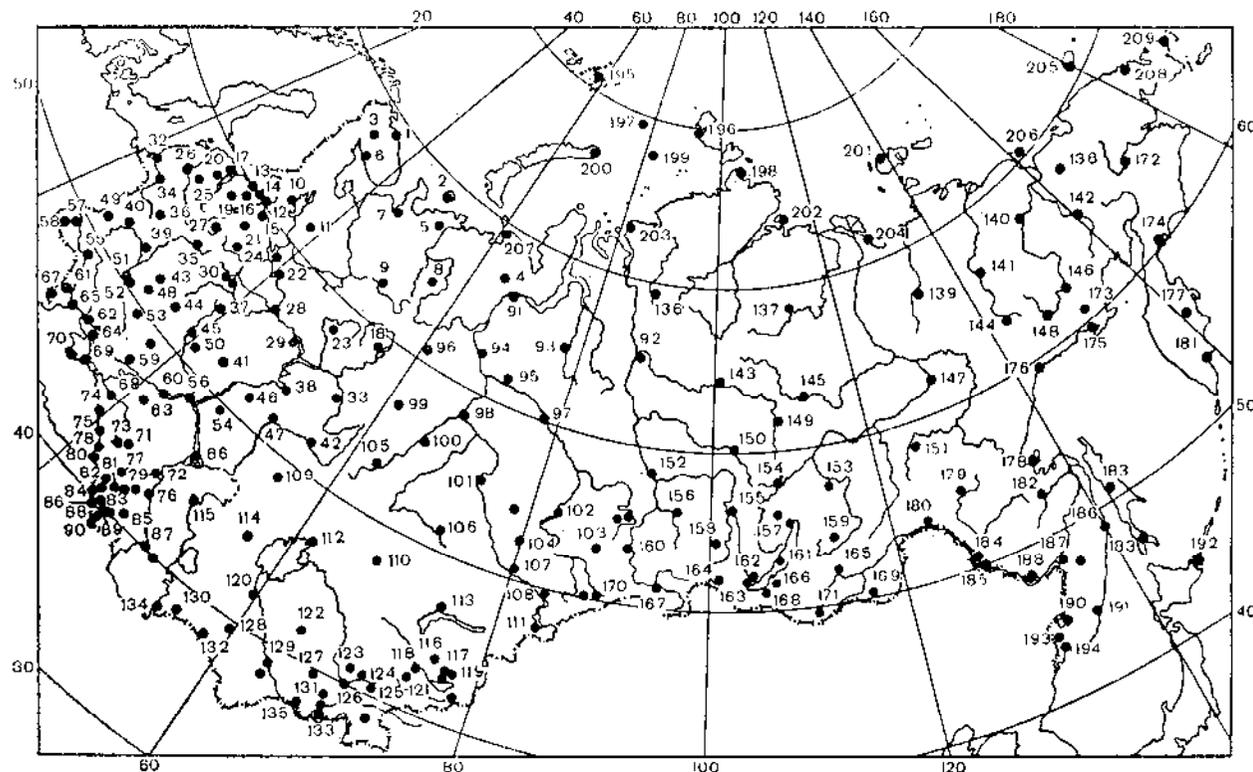


Рис. 1. Пункты актинометрических наблюдений бывшего СССР [2]

Национального агентства по авиации и исследованию космического пространства США NASA Surface meteorology and Solar Energy (NASA SSE) [3]. Она создана на основе многолетних спутниковых измерений радиационного баланса поверхности земного шара (включая территорию России) и современных моделей распространения излучения в атмосфере, учитывающих альбедо земной поверхности, структуру облачности, влажность воздуха, содержание в атмосфере

различных аэрозолей и ряд других факторов. Как показал анализ полученного массива информации, выполненный применительно к территории США и ряду других регионов земного шара, использование этих данных позволяет с достаточно малой погрешностью определять средние потоки солнечного излучения для участков земной поверхности с географическим разрешением  $1 \times 1^\circ$ .

Используя преимущества современных источников данных, следует принимать во

внимание необходимость их верификации по данным метеостанций России. Результаты такого сравнения позволяют выбрать основу как для расчетов потенциала территорий, так и картографирования элементов этого потенциала. Как следует из описания методологии базы NASA SSE [3] при «подгонке» результатов расчетов к данным наземных измерений разработчики воспользовались достаточно обширным массивом данных метеостанций, однако среди этих метеостанций было только 6 российских. Учитывая значительность территории России, а также высокоширотное расположение большей ее части, верификация данных для этой территории приобретает особое значение<sup>3</sup>. При подготовке Атласа были выполнены оценки погрешности: данные NASA сравнивались с результатами прямых многолетних измерений солнечной радиации для разных периодов года на 50 метеостанциях России, расположенных в различных регионах страны. Более детальные сравнительные исследования были выполнены с использованием многолетних измерений солнечной радиации в метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова, а также на метеостанциях Южного федерального округа России. Показано, что погрешность данных NASA по средним суммам солнечной радиации для большинства регионов

<sup>3</sup> Ошибки определения актинометрических и метеорологических параметров возрастают с ростом широты [2].

России не превышает 15%, что для инженерных расчетов эффективности использования солнечных установок вполне приемлемо. Выбор шага изолиний на картах сумм солнечной радиации ( $0,5 \text{ кВтч/м}^2\text{день}$ ) обусловлен величиной этой погрешности.

Помимо карт распределения по территории России средних за лето, теплое и холодное полугодия и за год суточных сумм суммарной солнечной радиации, приходящей на неподвижную приемную поверхность южной ориентации при различных углах наклона поверхности к горизонту, в Атлас включены карты распределения суточных сумм прямой солнечной радиации, поступающей на следящую за Солнцем поверхность, осредненных за год, теплое и холодное полугодия и за летний период.

Информация по суммарной солнечной радиации важна для разработки преобразователей энергии солнечного излучения, не использующих концентраторы (плоские и вакуумированные солнечные коллекторы для нагрева воды, воздуха и других теплоносителей, фотоэлектрические преобразователи без концентраторов и др.). Данные о прямой солнечной радиации необходимы для разработки установок с концентраторами солнечного излучения (фотоэлектрические преобразователи, солнечные электростанции и энергоустановки на основе параболоцилиндрических, параболоидных и других типов концентраторов, электростанции башенного типа и др.).

В Атлас включены также карты распределения среднегодовых скоростей ветра по территории России на высотах 10 и 50 м, построенные с использованием базы данных NASA SSE. Они дают наглядное представление о районах страны с наибольшими средними скоростями ветра и могут быть использованы на начальных этапах оценки эффективности использования ветроустановок, работающих как самостоятельно, так и в составе комбинированных солнечно-ветровых энергокомплексов. Следует, однако, иметь в виду, что в отличие от солнечной радиации истинные значения скорости ветра существенно зависят от локальных географических условий, и представленная на картах информация требует подтверждения путем организации прямых измерений скорости ветра в предполагаемом месте эксплуатации установок или сравнения с многолетними данными ближайших метеостанций.

Подготовка Атласа – многолетний труд, потребовавший участия большого коллектива специалистов, студентов и аспирантов. Основной вклад в его создание внесли сотрудники Объединенного института высоких температур РАН, работавшие на последних этапах в тесном сотрудничестве со специалистами Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (Научно-исследовательская лаборатория возобновляемых источников энергии).

Создание Атласа осуществлялось при финансовой поддержке Федерального агент-

ства по науке и инновациям в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2002–2006 годы», а также Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы».

Карты Атласа в наглядной и удобной для использования форме обеспечивают разработчиков и потребителей солнечных и ветровых установок исходными данными для оценки потенциала солнечной и ветровой энергии в различных географических регионах России, проведения оптимизационных расчетных исследований и подготовки предпроектных обоснований эффективности использования этих источников энергии. В качестве примера такого применения данных в Атласе в картографическом виде приведены результаты оценки энергетической эффективности использования в различных регионах страны простейших солнечных водонагревательных установок, кратко описана разработанная в ОИВТ РАН инженерная методика проведения таких оценок.

Авторы выражают благодарность Е.Н. Тереховой за создание геоподосновы карт и участие в разработке технологии их построения и Е.Е. Щедровой за построение карт и оформление Атласа