

ГЛАВА 3

КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА АКТИНОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ БАЗЫ ДАННЫХ NASA ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

3.1. СРАВНЕНИЕ АКТИНОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ NASA С ДАННЫМИ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Поскольку при верификации данных специалистами NASA были использованы результаты наблюдений лишь нескольких российских метеостанций (см. рис. 9, 10), то в настоящей работе был проведен дополни-

тельный анализ достоверности массива данных NASA SSE. Такие расчеты необходимы еще и потому, что практически половина территории РФ лежит в широтах выше 60°, для которых точность данных NASA SSE минимальна (см. таблицу 3).

- Анализ выполнялся в двух направлениях:
- сравнение данных NASA и наземных измерений 50 актинометрических станций (рис. 14), составляющих почти половину метеостанций, ведущих актинометрические наблюдения на территории России;
 - детальное сравнение актинометрических данных базы NASA SSE и данных актинометрических наблюдений метео-



Рис. 14. Пункты сравнения данных NASA SSE с результатами актинометрических измерений на территории России

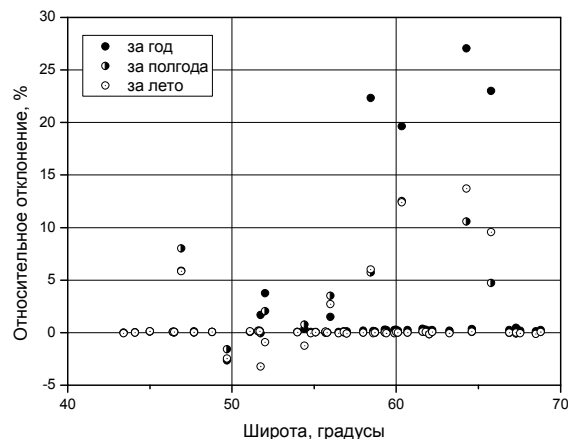


Рис. 15. Относительное отклонение сумм суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность в зависимости от широты за год, теплые полгода, летние месяцы.

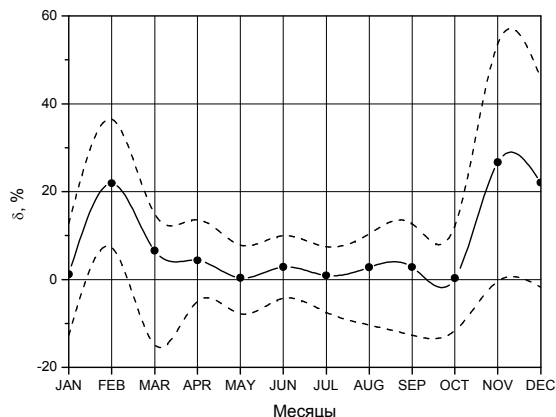


Рис. 16 Среднее по выборке из 50 пунктов сравнения относительное отклонение данных NASA в зависимости от времени (сплошная линия) и ее стандартное отклонение (пунктир).

обсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова и нескольких метеостанций Южного федерального округа России.

Параметром сравнения была относительная погрешность δ сумм суммарной солнечной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность. Погрешность анализировалась как по отдельным пунктам наблюдений, так и по всем пунктам за определенные промежутки времени (год, теплая половина года, летние месяцы). Результаты сравнения в зависимости от географической широты метеостанций приведены на рис. 15. Для большинства пунктов сравнения отклонение не превышает 5%, что для проведения геолитотехнических расчетов вполне допустимо.

Увеличения δ с ростом широты не обнаружено. Погрешность превышает 10% лишь для нескольких пунктов: Южно-Сахалинска (46,9°с.ш.), Енисейска (58,5°с.ш.), Ванавары (60,3°с.ш.), Туры (64,3°с.ш.), Туруханска (65,8°с.ш.) и некоторых других. Эти значительные отклонения актинометрических данных либо являются результатом случайных ошибок, либо возникают в результате недостаточного учета в математических моделях NASA SSE локальных особенностей климата в этих регионах.

Относительное отклонение естественно изменяется в течение года. Это иллюстрирует рис. 16, на котором приведена зависимость от времени осредненной по всем

пунктам сравнения δ и ее стандартного отклонения.

Приведенные данные, а также более детальная диаграмма (рис. 17), отражающая погрешность среднемесячных сумм падающей солнечной радиации для каждого пункта актинометрических наблюдений, показывают, что в теплые полгода (и тем более, в летние месяцы) для абсолютного большинства метеостанций δ не превышает 10...15%; более высокая погрешность наблюдается лишь в зимние месяцы.

Одной из причин достаточно высоких величин погрешности для отдельных пунктов сравнения и периодов осреднения может быть то, что для верификации матема-

тических моделей NASA SSE, как уже отмечалось выше, были использованы данные весьма ограниченного количества метеостанций России, расположенных, в основном, в ее Европейской части. Кроме того, создатели базы данных отмечают, что некоторые математические методы в высоких широтах либо дают ошибку более 15%, либо вообще не могут быть использованы. В любом случае, выяснение причин высоких отклонений, которые могут иметь как объективный, так и субъективный характер, требует специальных изысканий. В тех же точках, где указанная погрешность невелика ($\delta < 15\%$), данные NASA SSE для оценки потенциала солнечной энергии территории и расчета характеристик установок, использующих солнечную энергию вполне удовлетворительны.

Детальный анализ достоверности данных NASA был проведен с использованием актинометрических измерений метеообсерватории МГУ для двух периодов наземных наблюдений: 1961–1990 гг. и 1991–2000 гг. (рис. 18). В этом случае надежность исходных данных сомнений не вызывает, поскольку метеообсерватория МГУ оснащена регулярно поверяемыми актинометрическими приборами; а непрерывная автоматизированная регистрация измерений ведется здесь начиная с 1954 г. При сравнении были использованы данные NASA SSE, относящиеся к узлу сетки, максимально приближенному по координатам к Москве.

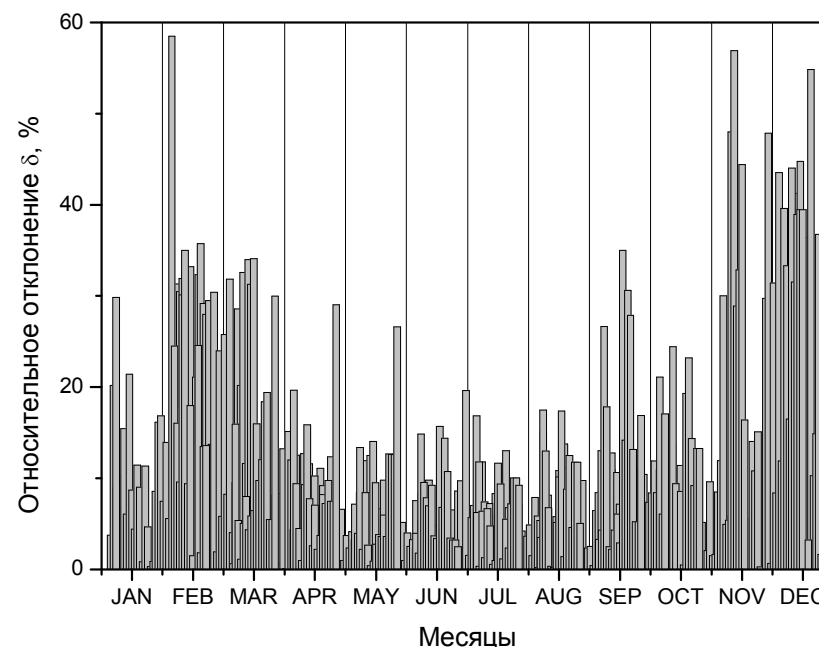


Рис. 17. Изменение в течение года относительного отклонения данных NASA от результатов наземных измерений (месячная сумма суммарной солнечной радиации) для различных метеостанций.

Принципиальных различий в распределении месячных сумм суммарной солнечной радиации по данным NASA SSE и МО МГУ и в этом случае не выявлено. Наибольшее различие в данных отмечается для июля, но в относительных величинах оно не превышает 15%. Это подтверждают графики распределения относительного отклонения месячных сумм суммарной солнечной радиации, которые практически идентичны для

обоих периодов (рис. 19). Погрешность максимальна (до 35%) в зимние месяцы, а в период март–октябрь не превышает 10%.

Таким образом, относительное отклонение данных NASA SSE от результатов наземных измерений по месячным суммам солнечной радиации для большинства «солнечных» месяцев и регионов России не превышает 10...15%, что вполне приемлемо для инженерных расчетов эффектив-

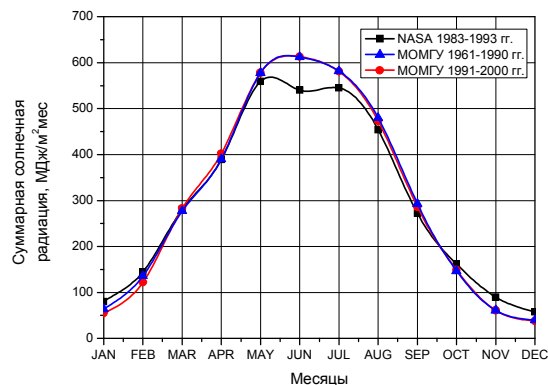


Рис. 18. Месячные суммы суммарной солнечной радиации по данным NASA SSE (1983–1993 гг.) и МО МГУ (1961–1990 гг. и 1991–2000 гг.).

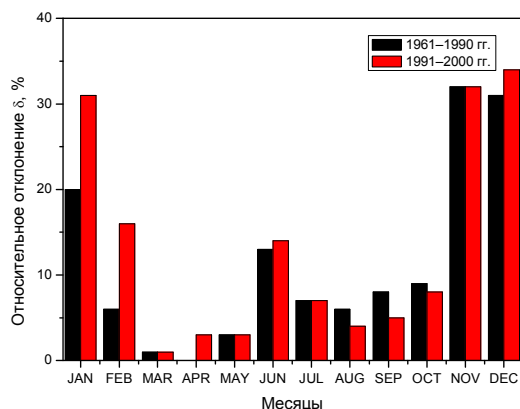


Рис. 19. Относительная погрешность месячных сумм суммарной солнечной радиации (данные NASA SSE в сравнении с данными МО МГУ 1961–1990 гг. и 1991–2000 гг.).

ности использования солнечных установок. Величиной этого отклонения, определяющей погрешность, обусловлен выбор

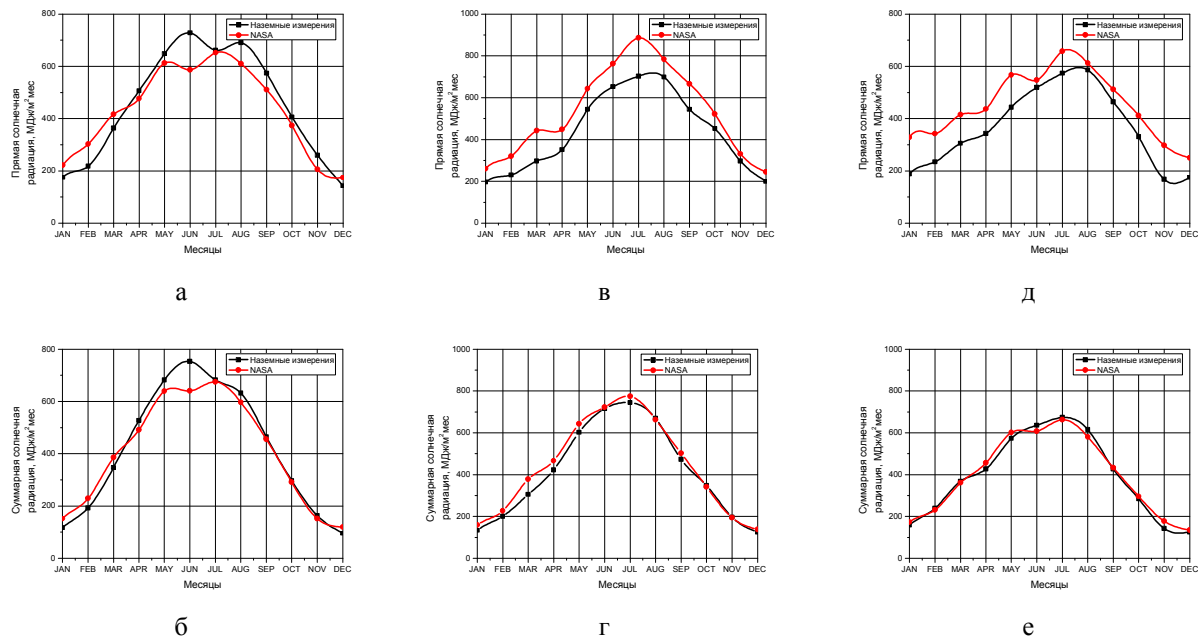


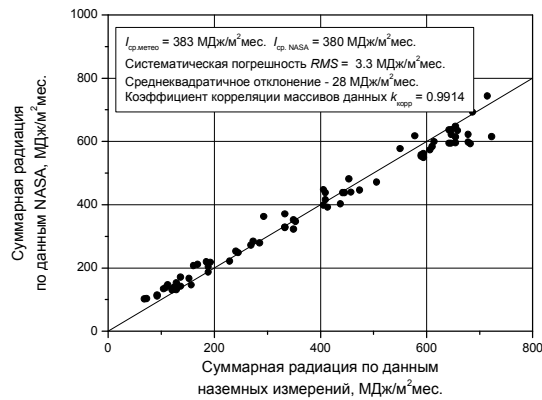
Рис. 20. Месячные суммы прямой солнечной радиации, поступающей на нормальную к лучу поверхность, и суммарной солнечной радиации по измерениям на актинометрических станциях и по данным NASA SSE: а – прямая радиация, Астрахань; б – суммарная радиация, Астрахань; в – прямая радиация, Сочи; г – суммарная радиация, Сочи; д – прямая радиация, Золотушка; е – суммарная радиация, Золотушка.

шага изолиний прихода солнечной радиации ($0,5 \text{ кВтч/м}^2 \text{ день}$) при картографической обработке данных.

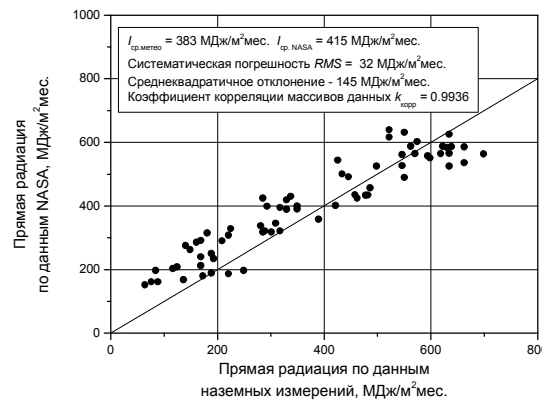
Поскольку для некоторых типов гелиоэнергетических установок (использующих концентраторы солнечной энергии) существенным является достоверность данных о прямой солнечной энергии, нами был проведен также сравнительный анализ соответствующих величин в базе данных

NASA. Для сравнения нами были использованы данные метеорологических станций по прямой и суммарной солнечной энергии; типичные результаты этого сравнения приведены на рис. 20, 21.

Данные NASA SSE по суммарной солнечной радиации гораздо лучше совпадают с результатами наземных измерений, чем данные по прямой солнечной радиации, поступающей на нормальную к лучу поверх-



а



б

Рис. 21. Диаграммы рассеяния для полученных из базы данных NASA и из результатов наземных актинометрических наблюдений значений: а – суммарной солнечной радиации, б – прямой солнечной радиации

ность. Это позволяет обоснованно использовать первые для картографирования ресурсов солнечной энергии и проводить оценку ее потенциала. Что касается данных по прямой солнечной радиации, следует в дальнейшем определить причину расхождения и оценить границы допустимости использования соответствующих результатов.

Верификация данных NASA SSE для оценки ветропотенциала выполнялась путем их сравнения с данными наземных измерений скорости на высоте флюгера, проводимых на метеостанциях ЮФО [1]. На рис. 22 приведен пример сравнения годового хода скорости ветра (среднемесячные значения), приведенным к высотам флюгерных изме-

рений. В ряде случаев наземные данные и результаты спутниковых измерений и последующего математического моделирования согласуются удовлетворительно (Таганрог, Астрахань, Волгоград, Сочи, Майкоп). Для других метеостанций (Ставрополь, Ростов-на-Дону, Черкесск) имеют место значительные расхождения, причем не только в абсолютных значениях скоростей ветра, но и в сезонном ходе. Причиной таких расхождений могут быть неточность учета типа подстилающей поверхности при моделировании в NASA SSE или иные обстоятельства. Так, для аппроксимации высотной зависимости в модели NASA SSE использована степенная функция с постоянным показателем степени,

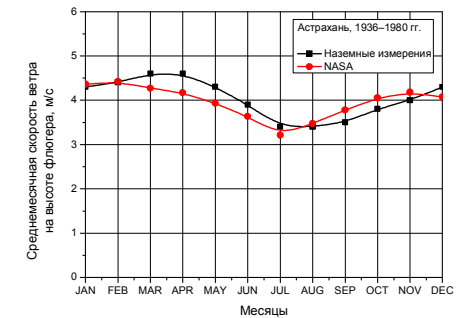
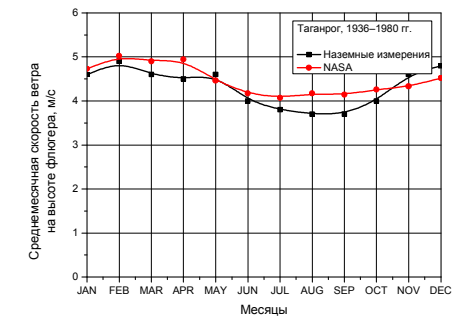
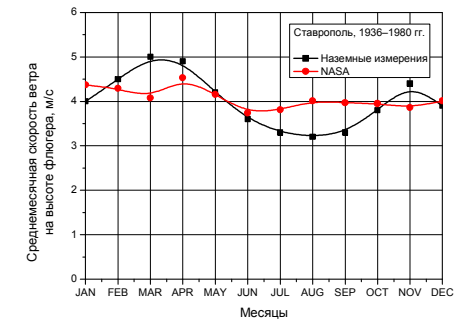


Рис. 22. Распределение среднемесячных скоростей ветра на высотах флюгерных измерений по данным наземных метеостанций и NASA SSE для станций наблюдения Южного федерального округа.

что, как видно из предыдущего изложения правомерным не является. С этим, по-видимому, и связаны значительные отклонения от наземных измерений. В то же время, первичная статистическая обработка исходных массивов данных (рис. 23) демонстрирует их удовлетворительное согласие.

Таким образом, для оценки ветровой обстановки над территорией, т.е. для интегральных оценок использование базы данных NASA SSE, по-видимому, является оправданным. Однако, при «точечных» расчетах, т.е. обосновании локального ветропотенциала необходимо использовать наземные измерения – многолетние метеоданные или результаты специально проводимого ветромониторинга [28].

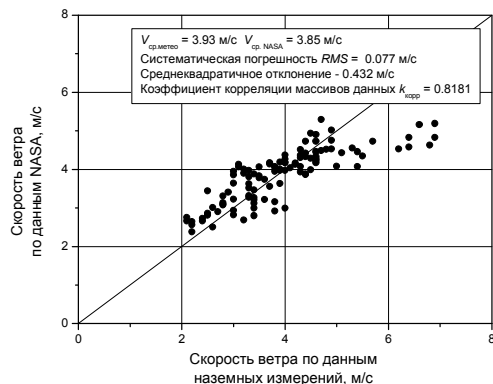


Рис.23. Диаграмма рассеяния среднемесячных скоростей ветра, полученных из базы данных NASA SSE и по результатам наземных наблюдений на метеостанциях ЮФО.

3.2. ПОСТРОЕНИЕ КАРТ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИЕЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ NASA SSE

Наличие в базе данных NASA SSE информации о суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную и наклонные поверхности, (в том числе и для территории России) с разрешением $1^\circ \times 1^\circ$ (по широте и долготе) создает возможность для построения карт ресурсов солнечной энергии. В картографическом виде были представлены следующие данные (в кВтч/м²):

- Суммарная солнечная радиация (горизонтальная поверхность, год)
- Суммарная солнечная радиация (горизонтальная поверхность, апрель-сентябрь)
- Суммарная солнечная радиация (горизонтальная поверхность, июнь-август)
- Суммарная солнечная радиация (вертикальная поверхность, год)
- Суммарная солнечная радиация (вертикальная поверхность, апрель-сентябрь)
- Суммарная солнечная радиация (вертикальная поверхность, июнь-август)
- Суммарная солнечная радиация (угол наклона приемной поверхности равен широте, год)
- Суммарная солнечная радиация (угол наклона приемной поверхности равен широте, апрель-сентябрь)

- Суммарная солнечная радиация (угол наклона приемной поверхности равен широте, июнь-август)
- Суммарная солнечная радиация (угол наклона приемной поверхности на 15° меньше широты, год)
- Суммарная солнечная радиация (угол наклона приемной поверхности на 15° меньше широты, апрель-сентябрь)
- Суммарная солнечная радиация (угол наклона приемной поверхности на 15° меньше широты, июнь-август)
- Суммарная солнечная радиация (угол наклона приемной поверхности на 15° больше широты, год)
- Суммарная солнечная радиация (угол наклона приемной поверхности на 15° больше широты, апрель-сентябрь)
- Суммарная солнечная радиация (угол наклона приемной поверхности на 15° больше широты, июнь-август)
- Суммарная солнечная радиация (угол наклона приемной поверхности на 15° больше широты, октябрь-март)
- Суммарная солнечная радиация (оптимально ориентированная поверхность, год)
- Прямая солнечная радиация (следящая за солнцем поверхность, год, теплые полгода, лето, холодные полгода)
- Среднегодовая скорость ветра на высотах 10 и 50 м
- Параметры эффективности использования солнечных водонагревательных установок.

Карты построены для различных периодов года (год в целом, теплые полгода (апрель–сентябрь), лето (июнь–август), для прямой радиации – дополнительно холодные полгода) и для различной ориентации наклонной поверхности приемника. Среди перечисленных карт представлена и карта распределения сумм суммарной солнечной радиации, падающей на оптимально ориентированную поверхность. В общем случае зависимость интенсивности падающей радиации от угла наклона поверхности к горизонту обладает максимумом, соответствующим минимальному углу падения излучения на поверхность. При усреднении за тот или иной период характер этой зависимости сохраняется. Оптимальный угол в течение года изменяется (рис. 24): в зимние месяцы (в период низкого стояния Солнца) он близок к 90° (максимальную солнечную энергию получают вертикальные поверхности), летом – близок к 0° (максимально облучены горизонтальные поверхности).

В то же время, поскольку зависимость поступающего на земную поверхность потока солнечной радиации от времени имеет случайный характер, точное значение оптимального угла для некоторого периода времени в данной местности является случайной величиной. Вообще говоря, для получения максимальной мощности солнечной установки необходима непрерывная переориентация приемной плоскости солнечного коллектора, что существенно удо-

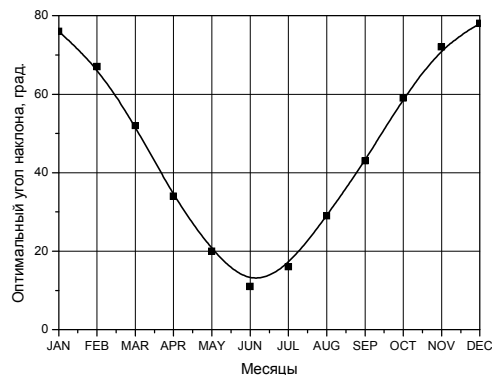


Рис. 24. Изменение оптимального угла наклона поверхности солнечного приемника в течение года (Москва, 55° с.ш., 37° в.д.)

рожает систему. Выходом из положения является установка солнечного приемника под оптимальным для периода работы установкой углом наклона к горизонту. В геотехнике принято считать, что для установок круглогодичного действия этот угол равен широте местности, для установок, работающих только в летний период – на $10...15^\circ$ меньше широты, в зимний – соответственно, на $10...15^\circ$ больше. Данные NASA SSE позволяют провести оптимизацию угла наклона коллектора, а также определить количество солнечной радиации падающей на оптимально ориентированную поверхность. При этом в качестве среднегодовой величины в базе данных используется среднее среднемесячных сумм, что является спорным. В Атласе приведена карта

среднегодовой дневной суммы суммарной солнечной радиации, приходящей на оптимально ориентированную поверхность.

Методика обработки данных и построения карт [29, 30] включала получение первичной информации из базы данных NASA SSE [3] для широтно-долготного диапазона, соответствующего территории России с интервалом в 1° по широте и долготе. В результате были сформированы около 4000 файлов относящихся к каждой точке сетки широта-долгота. Затем все файлы были сведены в единый массив, содержащий результаты расчета падающей солнечной радиации за каждый месяц года и среднегодовые значения. Данные относятся:

- к прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации;
- к ориентации приемной поверхности: горизонтальной, следящей, вертикальной, с углом наклона к горизонту, равным широте, широте $\pm 15^\circ$, оптимальному углу.

Массив подготовленных данных гораздо шире перечня построенных в результате работы карт. Разработанная авторами методика картографической обработки данных позволяет расширять этот перечень, создавая карты для отдельных регионов, отдельных периодов года или нанося на карты информацию, имеющую сугубо прикладное значение (например, величина оптимального угла наклона солнечного коллектора и т.д.).

Отличиями полученного картографического материала от «классических» карт,

построенных на основе наземных актинометрических данных, являются:

- более детальный массив данных (сетка данных $1^\circ \times 1^\circ$);
- отображение на картах сумм солнечной радиации, поступающей на различным образом ориентированные поверхности (а не только на горизонтальные и вертикальные);
- возможность на основе широкого набора актинометрической и метеорологической информации эффективно представлять в картографическом виде не только исходные данные, но и параметры эффективности работы использующих возобновляемые источники энергии установок, а также строить карты для отдельных регионов.

Созданные карты имеют большое практическое значение, поскольку дают наглядную качественную и количественную информацию о приходе солнечной радиации на горизонтальную и наклонные поверхности. Эта информация может быть использована при оценке эффективности применения солнечных установок в различных регионах России.

3.3. АНАЛИЗ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Представленные в Атласе карты можно разбить на следующие группы:

- карты распределения по территории России суммарной солнечной радиации, поступающей на неподвижные поверхности южной ориентации с различным углом

наклона к горизонту (средние за различные периоды времени дневные суммы, карты 1...16);

- карта распределения суммарной солнечной радиации, поступающей на оптимально ориентированную неподвижную поверхность, обеспечивающую максимальный за год сбор суммарной солнечной радиации (средние за год дневные суммы, карта 17);

- карты распределения по территории России прямой солнечной радиации, поступающей на следящую за Солнцем подвижную поверхность за различные периоды времени (средние за различные периоды времени дневные суммы, карты 18...21);

- карты среднегодовых скоростей ветра на высотах 10 и 50 м (карты 22...23);

- карты распределения характеристик работы солнечных водонагревательных установок (карты 24...27).

Анализ карт показывает, что распределение суммарной солнечной энергии по территории России характеризуется выраженной широтной зональностью, в чем проявляется влияние астрономического фактора. Особенно четко такой характер проявляется в распределении среднегодового прихода суммарной солнечной радиации, который изменяется в широтном направлении по территории Российской Федерации, увеличиваясь от $1,5 \text{ кВтч/м}^2 \text{ день}$ на побережье северных морей до $3,5 \dots 4,0 \text{ кВтч/м}^2 \text{ день}$ в районах Северного Кавказа, Нижнего Поволжья, юга Бурятии, Алтая, Тывы и Дальнего Востока.

В теплые полгода (апрель–сентябрь) и, в еще большей степени, в летние месяцы помимо абсолютного увеличения суммарной радиации⁶ наблюдается нарушение зональности, поскольку доминирующим фактором становятся особенности циркуляции атмосферы над территорией России. В результате имеет место существенный сдвиг изолиний к северу в азиатской части России, где благодаря малой облачности (вследствие устойчивости антициклонов), а также высокой прозрачности воздуха величина суммарной радиации сравнима с таковой на территориях Европейской части, располагающихся на $10 \dots 15^\circ$ южнее. В западных районах России меньшие значения суммарной радиации и нарушение зональности ее распределения определяется влиянием атлантических циклонов. Для районов Дальнего Востока характерно снижение уровня суммарной радиации в летние месяцы (по сравнению с прилегающими территориями того же широтного пояса), что также обусловлено особенностями циклональной активности: летний муссон на этих территориях сопровождается увеличением облачности и туманов.

В летние месяцы проявляется еще одна особенность распределения суммарной солнечной радиации: вследствие большой продолжительности дня и значительной до-

⁶ При переходе от средних за год к средним за теплое полугодие значениям суммарной солнечной радиации происходит сдвиг изолинии $3,5 \text{ кВтч/м}^2 \text{ день}$ от южных границ России до побережья северных морей.

ли рассеянной радиации в высоких широтах наблюдается некоторое повышение радиации с юга на север (эта особенность характерна для архипелагов Новая Земля, Северная Земля, Новосибирские острова). В некоторых случаях солнечной радиации за год на эти территории приходит столько же, сколько на территории, находящиеся на 10...20° южнее. В связи с неоднозначностью такого результата, авторами было проведено детальное сравнение данных NASA SSE с наземными измерениями метеорологических станций, расположенных на этих территориях⁷. Наблюдаемые тенденции подтверждаются как метеоданными, так и результатами, представленными ГГО им. А.И. Воейкова в Атласах ветрового и солнечного климатов России [25]. Высокие значения сумм солнечной радиации связаны с большой долей (более 50%) рассеянной радиации в этих районах. Эти особенности также были отмечены в распределении суммарной солнечной радиации, поступающей на оптимально ориентированную поверхность, и прямой радиации, падающей на следящую за солнцем поверхность в теплые полгода и летние месяцы.

В атласе приведены данные о суммарной солнечной радиации, падающей на вертикальные поверхности, для трех периодов (год, теплые полгода, летние месяцы). В го-

⁷ Были использованы данные метеостанций в пунктах: Уединения, Визе, Голомяный, Диксон, Челюскин, Туруханск и др.

довом распределении этой величины видно сохранение подобия широтной зависимости. Однако, в картах характеристик, осредненных за теплое полугодие и летние месяцы, такая зональность не только не просматривается, но наблюдается своеобразная инверсия: суммарная солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность, максимальна на обширной территории на северо-востоке страны, а минимальна в южных районах ее европейской части, Прибайкалье, Забайкалье, а также на юге Дальнего Востока. Этот результат вполне понятен, поскольку в летние месяцы в южных районах положение солнца таково, что максимальной облученности подвергаются площадки с минимальными углами наклона к горизонту.

В атласе также приведены карты распределения суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхности характерной для гелиотехнических устройств ориентации – наклоненные под углом к горизонту: угол наклона равен широте, меньше широты на 15°, больше широты на 15° (как отмечалось выше, для летнего периода и теплого полугодия предпочтительным является выбор приемных площадок, приближенных к горизонтальным, а для холодного полугодия – к вертикальным). Для последней ориентации приемной поверхности имеется карта с осреднением данных за холодное полугодие. В картах распределения суммарной радиации, падающей на наклонные поверхности, лишь при годовом осреднении замет-

ны элементы широтной зональности. В другие периоды можно выделить ряд районов, которые отличаются локально высокими величинами потоков солнечной радиации. К ним относятся, в частности, обширный регион в среднем течении Лены (с центром в Якутске), а также примыкающий к нему значительный район на крайнем Северо-востоке страны. Эти регионы имеют хорошо выраженные границы для всех периодов осреднения и при любой ориентации приемной поверхности. Наибольшие суммы падающей солнечной радиации для этих районов отмечаются в летние месяцы и теплые полгода для поверхностей, ориентированных под углами, равными широте и на 15° меньше. Суммы приходящей солнечной радиации в этих регионах сравнимы с таковыми в южных регионах России (юг Сибири, Дальнего Востока, Поволжья и Северного Кавказа). Некоторые районы, наоборот, характеризуются пониженной суммарной падающей радиацией по сравнению с окружающими территориями той же широты, в частности, область на севере Западной Сибири, географически приближенная к плато Путорана. Заметное уменьшение потока солнечной радиации проявляется в этом районе в летние месяцы и теплые полгода. При годовом осреднении отличия не проявляются.

Как и в случае других карт, представляющих средние за год значения, на карте распределения суммарной солнечной радиации, приходящей на оптимально ориентиро-

ванную поверхность, можно увидеть выраженную широтную зональность характеристик, однако в случае оптимальной ориентации имеет место сдвиг изолиний суммарной радиации на север на $7...10^\circ$ широты по сравнению с другими ориентациями приемных поверхностей. Иными словами, оптимально ориентированная площадка собирает такое же количество энергии, как площадка, ориентированная по широте, расположенная на 10° южнее.

Ряд солнечных установок использует концентраторы солнечного излучения, поэтому большой практический интерес представляют карты 18...21 Атласа, на которых представлены распределения средних дневных сумм прямой солнечной радиации, поступающей на следящую за Солнцем поверхность за разные периоды года. Концентрации поддается только прямая составляющая солнечного излучения и только она участвует в процессах преобразования солнечной энергии в полезные виды, так что определяет эффективность применения установок с концентраторами солнечного излучения именно ее величина. Данные о поступлении прямой радиации на нормальную поверхность являются важными для гелиотехники, еще и потому, что они дают представление о наибольшем количестве солнечной энергии, доступной в естественных условиях. Видно, что широтная зональность в данном случае проявляется лишь в холодное полугодие, а значительные ее нарушения в

остальное время приводит к тому, что даже на карте годового распределения этой характеристики зависимость от широты практически не выражена. Как отмечено в [25], изменение прямой радиации по территории ввиду ее сильной зависимости от атмосферной циркуляции происходит с большим градиентом по сравнению с суммарной, т.к. при увеличении облачности снижение прямой радиации частично компенсируется увеличением рассеянной, и суммарная радиация меняется незначительно. Широтный характер распределения прямой радиации нарушается также под влиянием возвышенностей и водоемов. В теплые полгода и особенно в летние месяцы значительные величины прямой солнечной радиации отмечаются не только в южных районах страны (см. выше), но – в большей степени – на севере европейской части и в северо-восточных районах Сибири, где располагаются «очаги» максимального поступления прямой радиации. Исключением является юг Приморья, где наибольшее поступление прямой солнечной радиации отмечается в холодный период года.

Таким образом, анализ построенных карт показывает, что на территории России, часто вне прямой зависимости от широты, имеют место регионы с высокими уровнями солнечной радиации. К таким регионам относятся как южные районы страны (Краснодарский край, Ростовская область, юг Восточной Сибири и Дальнего Востока), так и некоторые районы, расположенные в более

высоких широтах и даже лежащие за полярным кругом. Такая картина распределения инсоляции в определенной степени совпадает с рядом «классических» карт, построенных на основе данных наземных актинометрических наблюдений, – картами сумм суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность для апреля – августа [1, 6]. В холодный же период года (октябрь – март) и в среднем за год широтная зональность распределения солнечной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность, на этих картах выражена достаточно строго, что не вполне соответствует результатам, полученным в настоящей работе. Широтная неоднородность распределения солнечной радиации особенно проявляется в случае негоризонтальной ориентации приемной поверхности.

Сравнение годовых карт прихода суммарной солнечной радиации на различным образом ориентированные неподвижные поверхности показывает, что в случае оптимальной ориентации плоскости солнечного приемника максимально увеличивается площадь территорий, получающих $4...4,5$ кВтч/м² день излучения. Эта область охватывает юг Восточной Сибири и Дальнего Востока, а также Краснодарский край. Несколько меньшим энергетическим потоком характеризуются Ростовская область и Южное Поволжье.

Здесь следует отметить, что в связи с расположением России в довольно большом

широтном поясе, районирование ее территории с использованием критерия поступления солнечной радиации на горизонтальную поверхность с точки зрения гелиотехники правомерным не является, поскольку приемники солнечного излучения устанавливаются под углом к горизонту. Поэтому данные и карты распределения солнечного излучения, приходящего на наклонные площадки имеют большое практическое значение. Такие карты существенно увеличивают информационную основу для выделения на территории России приоритетных с точки зрения использования солнечной энергии зон.

Представленный картографический материал может служить основой для районирования территории страны по суммам доступной солнечной радиации. Они позволяют выделить наиболее солнечные районы России (Забайкалье, часть Приморья, районы Северного Кавказа и Южного Поволжья, а также – при определенной ориентации приемной поверхности – значительные регионы Центральной и Восточной Сибири. Примечательно, что такими же высокими поступлениями солнечной радиации выделяются некоторые районы за Полярным кругом, в том числе Северная Земля.

Для сравнения потенциала России и других регионов мира отметим, что самый «солнечный» район Европы – юг Испании – характеризуется среднегодовым дневным поступлением солнечной радиации $4,7 \text{ кВтч/м}^2 \text{ день}$, а юг Германии, где сегодня

идет активное внедрение солнечных установок, – всего $3,3 \text{ кВтч/(м}^2 \text{ день)}$. Таким образом, значительные регионы России по суммам поступающей солнечной радиации практически не уступают европейским странам. Безусловно, Россия характеризуется гораздо более холодным климатом, особенно в зимнее время, что накладывает некоторые ограничения на использование солнечных установок. Однако представленные данные достаточно убедительно опровергают широко бытующее представление о том, что Россия солнечными ресурсами бедна.

Безусловными фаворитами по поступлению прямой солнечной радиации являются районы Сибири, где дневное поступление прямой солнечной радиации на следящую за Солнцем поверхность превышает $4,5 \dots 5 \text{ кВтч/м}^2$. Это связано, прежде всего, с высоким коэффициентом прозрачности атмосферы в этих районах. Обращает на себя внимание тот факт, что дневные суммы прямой солнечной радиации, приходящей на следящую поверхность за теплые полугодие и летний период (карты 19 и 20), для подавляющей части территории России превышают $4,5 \text{ кВтч/м}^2$, а в наиболее «солнечных» районах достигают 7 кВтч/м^2 и более. В то же время, в холодное полугодие на большей части территории страны средние дневные суммы солнечной радиации не превышают $2 \dots 3 \text{ кВтч/м}^2$. Лишь некоторые районы Забайкалья и Приморья характеризуются дневными суммами до $4,5 \text{ кВтч/м}^2$.

Анализ полученных результатов показывает, что распределения суммарной и прямой солнечной радиации существенно отличаются друг от друга. Использование следящих за Солнцем приемников с концентраторами солнечного излучения, прежде всего в некоторых районах Сибири, позволяет на $15 \dots 20\%$ увеличить располагаемый энергетический потенциал солнечной энергии. Однако для большей части территории России, в том числе в наиболее перспективных для использования солнечной энергии районах юга Европейской части и Забайкалья преобразователи солнечного излучения с концентраторами «собирают» меньше солнечного излучения, чем неподвижные приемники, рассчитанные на дальнейшее преобразование как прямой так и рассеянной солнечной радиации (солнечные коллекторы, традиционные фотоэлектрические преобразователи и т.п.).

На картах 22 и 23 представлены распределения среднегодовых значений скорости ветра на высотах 10 и 50 м по территории России. Данные карты носят справочный характер и дают общее представление о наиболее и наименее ветреных районах страны. Прямое их использование возможно лишь на предварительных этапах проработки проектов создания ветроустановок. Реальные ветровые условия сильно зависят от рельефа местности и местного микроклимата. Особенно чувствительны к локальным особенностям небольшие автономные ветроуста-

новки, ветроколеса которых расположены не высоко над уровнем земли. Оптимальное место их расположения требует дополнительных изысканий с использованием прямых измерений параметров ветра. Для крупных сетевых ветроустановок мегаваттного класса с высотой башни 100 м и более чувствительность к местному рельефу не столь сильна, однако и их размещение требует проведения предварительного ветромониторинга. Оптимизация расположения ветроустановок на местности крайне важна в связи с упомянутой сильной (кубической) зависи-

мостью вырабатываемой мощности от скорости ветра. Ошибка в исходных данных на 10% может привести к ошибкам в расчете выработки энергии на 30...50%, что, в свою очередь, может существенно сказаться на экономических показателях проекта.

Максимальным ветропотенциалом со среднегодовыми скоростями ветра более 7 м/с располагают окраинные районы страны и, прежде всего, районы вдоль морских побережий. Около половины территории страны характеризуется средними скоростями ветра более 5 м/с – общепри-

нятого порогового значения скорости ветра, при которой имеет смысл изучать возможности эффективного практического использования ветроустановок более детально. Наименее благоприятными для использования энергии ветра являются центральные районы Европейской, Западно- и Центрально-Сибирской частей России, хотя, как показывает практический опыт, и в этих районах могут быть найдены места с аномально сильными ветрами, приемлемыми для эффективного использования.