

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра Метеорологии, климатологии и охраны атмосферы**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

На тему Анализ гелиоэнергетических ресурсов Краснодарского края

Исполнитель Петрова Елизавета Денисовна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой**



(подпись)

Кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна

(фамилия, имя, отчество)

« 13 » \_\_\_\_\_ 06 \_\_\_\_\_ 2020г.

Санкт-Петербург

2020

## Оглавление

Глава 1 Физико-географическая характеристика Краснодарского края .....	5
1.1 Географическое положение и рельеф исследуемой территории .....	5
1.2 Особенности циркуляции .....	7
1.3 Радиационные условия .....	10
Глава 2 Анализ режима приходящей солнечной радиации .....	14
2.1 Приход прямой солнечной радиации .....	14
2.2 Радиационный баланс Краснодарского края.....	24
Глава 3 Оценка объемов вырабатываемой энергии от гелиоресурсов .....	40
3.1 Расчёт энергетических ресурсов.....	40
3.2 Оценка производительности гелиоустановок .....	43
Заключение .....	63
Список использованной литературы.....	65

## Введение

В связи со стремительным убыванием природных энергетических ресурсов и нарастанием в ряде государств энергетического кризиса, ученые упорнее ищут пути более обширного применения альтернативной энергетики, которые использовались бы как для бытовых, так и для промышленных целей. Существует несколько путей решения этой проблемы, один из которых – использование гелиоэнергетических ресурсов.

Использование энергии солнца представляет большой интерес, так как солнечная энергия является возобновляемым источником энергии. Возобновляемые источники энергии имеют два важных преимущества: практически неисчерпаемый потенциал и экологическая чистота. Основываясь на этом, оценка потенциальных гелиоэнергетических ресурсов является актуальной в наше время.

Большая часть внимания уделяется использованию солнечной энергии автономными, как правило, мало энергоёмкими потребителями. При этом гелиоустановки находят всё большее применение в сельском, в промышленном, в коммунальном хозяйствах и в строительстве.

Многие государства уже сейчас активно используют солнечную энергию. Например, в США и Канаде с помощью солнечной энергии отапливаются более 60% плавательных бассейнов. Так же солнечными водонагревателями обеспечивается горячее водоснабжение 80% жилых домов в Израиле. Германия же является рекордсменом в гелиоэнергетике. 25 мая 2012 года там был поставлен рекорд: совокупная мощность гелиоустановок достигла 22 ГВт/ч, что равно почти трети потребления энергии Германией в рабочий день. В Германии установлено столько гелиоустановок, сколько установлено во всех странах мира, вместе взятых. От этих источников страна получает около 20% необходимого электричества. В России, к сожалению, гелиоэнергетические установки пока не имеют такого широкого применения.

Поскольку в настоящее время потребность в экологически чистых источниках энергии возрастает, важное значение приобретает проблема оценки и использования гелиоэнергетических ресурсов отдельных районов.

Целью данной выпускной работы является анализ режима солнечной радиации и оценка потенциальных гелиоэнергетических ресурсов для Краснодарского края.

Выпускная квалификационная работа бакалавра состоит из трех разделов. В первом разделе приводятся основные сведения о географии и радиационном режиме Краснодарского края. Во втором разделе рассмотрены основные климатические характеристики гелиоэнергетических ресурсов. В третьем произведена оценка гелиоэнергетических ресурсов Краснодарского края и оценка энергоёмкости используемых на территории края гелиоустановок.

В заключении даны основные выводы по результатам работы.

# Глава 1 Физико-географическая характеристика Краснодарского края

## 1.1 Географическое положение и рельеф исследуемой территории

Краснодарский край расположен в южной части России, между  $43^{\circ}30'$  и  $46^{\circ}50'$  северной широты и  $36^{\circ}30'$  -  $46^{\circ}45'$  восточной долготы, занимая западную часть Кавказа и Предкавказья.

На севере и северо-востоке Краснодарский край граничит с Ростовской областью, на востоке и юго-востоке — со Ставропольским краем, на юге - с Грузией; на северо-западе край омывается Азовским морем, а на юго-западе - Черным морем (рис. 1.1).

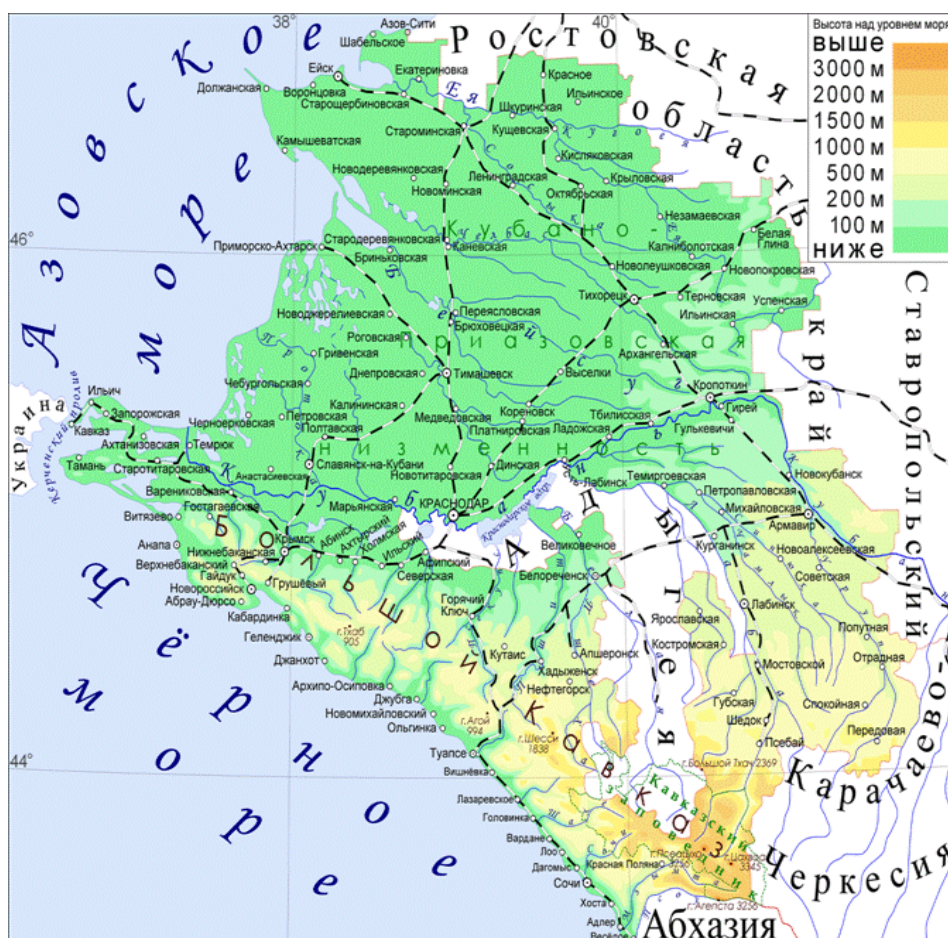


Рис.1.1. Географическое положение и рельеф Краснодарского края [22, с. 4]

Рельеф Краснодарского края разнообразен. Более половины территории края занято Кубано -Приазовской равниной, Прикубанской наклонной равниной и Дельтой реки Кубань [17, с. 112].

Кубано-Приазовская равнина представляет собой низменную аллювиальную равнину с обширными поймами, пролегающую от долины р. Кубань до Азовского моря и северной границы края.

Прикубанская пологая равнина террасирована, разделена глубокими долинами левых притоков Кубани с рядом ярко выделенных террас и глубокими оврагами.

Азово-Кубанская низменность относится к северной равнинной части края. Она характеризуется относительно ровным рельефом, монотонность которого нарушается только долинами степных рек (ИТ, Челбаса, Бейсуга, Кирпили, Понура и др.), которые текут в направлении с Северо-Запада к Азовскому морю, а также многочисленные овраги и отроги Ставропольского плоскогорья, которые с Юго-Востока входят в Азово-Кубанскую низменность [25, с. 133]. Низменности также пересекают длинные увалы и наклонные балки. Абсолютные отметки Азово-Кубанской низменности не превышают 200 м. Более ровная поверхность наблюдается на Западе. Абсолютные отметки поверхности в этом районе обычно не превышают 10 м. Эта часть территории, прилегающая к Азовскому морю, называется Азовской низменностью, которая также является дельтой реки Кубань и степными реками региона. Азово-Кубанская низменность проходит через широкую долину реки Кубань в пологую террасированную равнину предгорий северо-западной части Большого Кавказа.

Сегодня Большой Кавказ представляет собой сложную горную систему, состоящую из крупных горных цепей. Территория исследуемого региона занята в основном Главным Кавказским хребтом и его отрогами. Мощный хребет, расположенный от Тамани до Апшерона, проходит на западе около 400 км параллельно берегу Черного моря, а его отроги во многих местах спускаются к самой воде. Кавказский хребет сильно изрезан. На

обнажениях, встречающихся повсеместно, виден флиш в самом разнообразном направлении, даже вертикально, как, например, на берегу моря близ Туапсе (Киселева скала). Почти везде четко очерчены поверхности древних морских террас. Реки выносят к морю преимущественно флишевую гальку.

## 1.2 Особенности циркуляции

Факторы циркуляции зависят от адвекции теплых и холодных масс и их трансформации под воздействием подстилающей поверхности и фронтогенеза.

Основные особенности атмосферной циркуляции в рассматриваемом регионе определяются воздействием общепланетарной циркуляции субтропическим поясом высокого давления летом, западным отрогом сибирского максимума и исландского минимума зимой. В то же время атмосферные процессы в регионе существенно усложняются местными факторами: сложной орографией Большого Кавказа и наличием трёх обширных водоёмов, Чёрного, Азовского и Каспийского морей.

Большой Кавказ является естественным барьером для прохождения барических систем как с севера, так и с юга. Поэтому холодные воздушные массы, двигаясь с севера и достигнув Большого Кавказа, задерживаются и начинают его обтекать, попадая в Закавказье только со стороны чёрного или Каспийского морей и редко одновременно с обеих сторон. Высокогорный район в случае таких вторжений остаётся как бы в виде «тёплого острова». Большой Кавказ препятствует проникновению на северный склон и в Предкавказье тёплых южных воздушных масс. Отмечается только вторжение в Предкавказье средиземноморских циклонов через сравнительно невысокие хребты Северо-Западного Кавказа. Задержка горной системой воздушных масс приводит к их обострению перед орографическим пре-

пятствием и соответственно к увеличению количества атмосферных осадков и облачности [11, с. 56].

Влияние Чёрного и Каспийского морей на атмосферную циркуляцию существенно различаются. Роль первого более значительна, чем второго, так как оно стоит на пути средиземноморских, иногда атлантических циклонов и является для них дополнительным источником влаги. Каспийское море оказывает определённое влияние на динамику атмосферной циркуляции, усиливая циклоническую активность зимой и антициклоническую активность летом, в большей степени защищая юго-восточную часть Кавказа от действия холодного азиатского воздуха.

Предкавказье и северный склон Большого Кавказа находятся в холодный период преимущественно под влиянием юго-западной периферии областей высокого давления, с которыми связаны восточные и северо-восточные потоки континентального воздуха. В это время вторжение атлантических и арктических воздушных масс осуществляется редко. На Северо-Западном Кавказе и Западном Предкавказье прохождение черноморских и средиземноморских циклонов, движущихся с юго-запада и связанных с большим количеством осадков, наблюдается в холодный период. На южных склонах Большого Кавказа в это время погодные условия определяются в основном окклюдируемыми циклонами на Малоазиатской ветви Полярного фронта. Преобладают вторжения Юго-Восточного направления. Поэтому из-за различной орографии Западного и Восточного Закавказья в первом из них пасмурные погоды отмечаются со значительным количеством осадков, в то время как в восточной части в это время осадков выпадает мало [16, с. 118].

Исследуемый район преимущественно находится под влиянием Сибирского и Азорского антициклонов. Летом Кубань полностью находится под влиянием отрога Азорского антициклона, и на побережье устанавливаются длительные периоды стабильной погоды с большим количеством ясных дней. Зимой северо-восточный регион в основном подвержен



влиянию северо-восточных ветров. Повторяемость ветров северных, восточных, западных и северо-западных в течение всего года в крае невелика и в среднем за год колеблется от 4 до 6%. Повторяемость юго-восточных и юго-западных ветров в среднем составляет от 12 до 20 %.

Таблица 1.1 Среднее число дней (n) и повторяемость (%) воздушных масс различного происхождения

Воздушные массы	Зима (I-II)		Весна (III-IV)		Лето (V-IX)		Осень (X-XII)		Год	
	n	%	n	%	N	%	n	%	n	%
Арктический воздух:										
	0,8	1,3	1,2	2,0	2,0	1,4	3,0	3,3	7,0	1,9
Морской континентальный										
	1,4	2,4	0,4	0,6	0,8	0,5	2,4	2,6	5,0	1,4
Воздух умеренных широт:										
	4,8	8,1	8,0	13,1	11,0	7,2	10,6	11,5	34,4	9,4
морской континентальный										
	48,4	81,8	46,2	75,7	104,0	68,0	68,8	74,7	267,6	73,3
Тропический воздух:										
	3,8	6,4	3,8	6,3	9,2	6,0	6,6	7,2	23,4	6,4
морской континентальный										
			1,4	2,3	25,8	16,9	0,6	0,7	27,8	7,6

Территория Краснодарского края, является местом столкновения различных систем атмосферной циркуляции. В холодную часть года погодные условия здесь, как правило, определяются непосредственным влиянием от-

рога азиатского барического максимума. На его юго-западной периферии наблюдается вынос с востока и юго-востока зимой малоувлажненного и очень холодного воздуха, а весной теплого и сухого. В то же время восточные ветры часто достигают большой силы, а в районе г. Новороссийска, в силу специфики орографии, - урагана. В малоснежные зимы и ранней весной эти ветры довольно часто вызывают пыльные бури, а когда идет снег - низовые метели. Ещё одной характерной особенностью атмосферной циркуляции в холодный период являются довольно частые выносы масс теплого воздуха из района Черного моря и соседних с ним южных стран, как правило, это бывает при выходах, так называемых южных циклонов, вызывающих обильные осадки и резкое потепление (особенно в предгорной полосе края) [8, с. 54]. На юге региона, на Черноморском побережье периодически образуются местные (частные) циклоны, которые также вызывают здесь сильные осадки. Свободный доступ холодного воздуха с северных районов страны, а с юга - теплого, активная циклоническая деятельность приводит к частому возникновению опасных явлений погоды, в том числе и сильных осадков (более 50мм за полусутки).

### 1.3 Радиационные условия

Благодаря своему южному положению, территория Краснодарского края получает много тепла. Климат Краснодарского края определяется несколькими факторами: географической широтой, влиянием воздушных масс, близостью морей, рельефом местности, характером подстилающей поверхности.

Территория региона равноудалена от Северного полюса и экватора, а значит находится в зоне умеренного климата. Самое высокое положение Солнца над горизонтом в краевом центре наблюдается 22 июня  $68^{\circ} 30'$  к горизонту, на  $2^{\circ}$  выше, чем на экваторе. Это самый долгий день в Краснодаре: 17 ч. 34 мин. Самое низкое положение Солнца 22 декабря  $21^{\circ}$

30' над горизонтом, то есть на 2 градуса ниже, чем на Южном полюсе. Это самый короткий день (продолжительность 6 часов). В дни равноденствия 21 марта и 23 сентября нахождение Солнца к горизонту  $45^\circ$ , а день равен ночи.

Основная роль в формировании климата принадлежит радиационному режиму. Несмотря на относительно небольшую протяженность Западного Кавказа по широте и долготе, существуют значительные различия в поступлении и расходе солнечного излучения, связанные с рельефом местности: северными предгорьями и Черноморским побережьем с одной стороны и горным с большим диапазоном высот. В регионе отмечается большое количество тепла и солнца. Продолжительность солнечного сияния здесь составляет 2200 - 2400 час в год при относительно небольшом числе дней без солнца, составляющем 60 -75 дней. На Западном Кавказе продолжительность солнечного сияния существенно варьируется от 1500 часа на днищах глубоких долин до 2600 часов и более на верхних участках хребтов и вершинах.

Вся территория края (за исключением высокогорной зоны) находится в области положительных значений радиационного баланса (в то время как в большинстве областей России радиационный баланс в холодное время года отрицательный). Количество суммарной солнечной радиации, поступающей на данную территорию, колеблется от 115 ккал/см<sup>2</sup> на севере края до 120 ккал/см<sup>2</sup> на юге [26, с. 79]. Она так же значительна и на Черноморском побережье Кавказа, где достигает 2300-2400 ч/год. Число дней без солнца здесь составляет 40 -50 дней. Поэтому здесь отмечают высокие значения солнечной радиации. Приход прямой солнечной радиации составляет 2500 -5500 МДж/м<sup>2</sup> за год, например, в Сочи 5267 МДж/м<sup>2</sup>. С высотой она уменьшается и на высотах около 3000 м составляет, что 3500 МДж/м<sup>2</sup>.

Рассеянная радиация равна 2000 -3200 МДж/м<sup>2</sup> при невысоких значениях в высокогорной зоне. Суммарная радиация весьма значительна и составляет 4500-6600 МДж/м<sup>2</sup>.

Годовой радиационный баланс на Черноморском Побережье достигает 2000 -2600 МДж/м<sup>2</sup>. Радиационный баланс, близкий к нулевому, отмечается здесь только в декабре и январе, в то время как на высотах 2000 м 4 - 5 месяцев, а выше 3000 м 6 -7 месяцев и более. Наиболее высокие значения радиационного баланса отмечаются в предгорьях и на Черноморском побережье в июне и июле, в высокогорной зоне в мае и июне, когда они достигают 100-200 МДж/м<sup>2</sup> за месяц.

Альbedo в данном регионе изменяется довольно существенно, составляя в предгорьях 20-30 % в год, что связано со относительно небольшой продолжительностью существования снежного покрова [10, с. 74]. В высокогорной зоне Западного Кавказа среднегодовое альbedo составляет 46 -55 %, меняясь от 20-35 % летом, до 73-80 % зимой. Увеличение альbedo достаточно чётко прослеживается с высотой, что связано с увеличением продолжительности залегания снежного покрова.

Лучистая энергия, получаемая земной поверхностью, преобразуется в тепловую, которая расходуется на испарение влаги, турбулентный теплообмен между поверхностью почвы и воздухом, а также на теплообмен в почве. Расположение территории Краснодарского края в сравнительно низких широтах обуславливает интенсивный приток солнечной радиации, в связи с чем, характерной особенностью климата является обилие солнечного света и тепла. Запасы солнечной энергии, выражаемые величиной радиационного баланса, варьируются от 45 ккал/см<sup>2</sup> на севере до 55 ккал/см<sup>2</sup> на юге, причем радиационный баланс остается положительным в течение 10-11 месяцев года, в то время как в южных регионах он положителен весь год. В месяцы с отрицательным радиационным балансом его величина небольшая, в среднем составляет 0,2 -0,3 ккал/см<sup>2</sup> в месяц [15, с. 57].

Продолжительность солнечного сияния в равнинных и низких предгорьях составляет около 2200—2400 час в год. При хорошей обеспеченности теплом, увлажнение территории крайне неравномерное и на большей части недостаточное.

Расположение Черного моря в относительно низких широтах вызывает большой приток солнечной энергии: в год на поверхность моря поступает от солнца около  $100 \text{ ккал/см}^2$  тепла [29, с. 41]. В зимние месяцы тепловой баланс над морем нейтральный, а в летние – положительный. Приток солнечной радиации сравнительно устойчив в весенне-летне-осеннее время, особенно в период апрель — октябрь [14, с. 43].

## Глава 2 Анализ режима приходящей солнечной радиации

### 2.1 Приход прямой солнечной радиации

Поскольку при верификации данных специалистами NASA были использованы результаты наблюдений лишь нескольких российских метеостанций (см. рис. 2.1, 2.2), то в данной работе был проведен дополнительный анализ достоверности массива данных NASA SSE. Такие расчеты необходимы еще и потому, что практически половина территории РФ лежит в широтах выше  $60^\circ$ , для которых точность данных NASA SSE минимальна (см. таблицу 2.1).

Анализ выполнялся в двух направлениях:

- сравнение данных NASA и наземных измерений 50 актинометрических станций (рис. 2.3), составляющих почти половину метеостанций, проводящих актинометрические наблюдения на территории России;

- детальное сравнение актинометрических данных из базы NASA SSE и данных актинометрических наблюдений из метеообсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова и нескольких метеостанций Южного федерального округа России.



Рис. 2.1 Пункты сравнения данных NASA SSE с результатами актинометрических измерений на территории России

В качестве параметра сравнения была выбрана относительная погрешность (отклонение) сумм суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. Погрешность анализировалась как по отдельным точкам наблюдений, так и по всем точкам 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 вполне допустимо для проведения гелиотехнических расчетов.

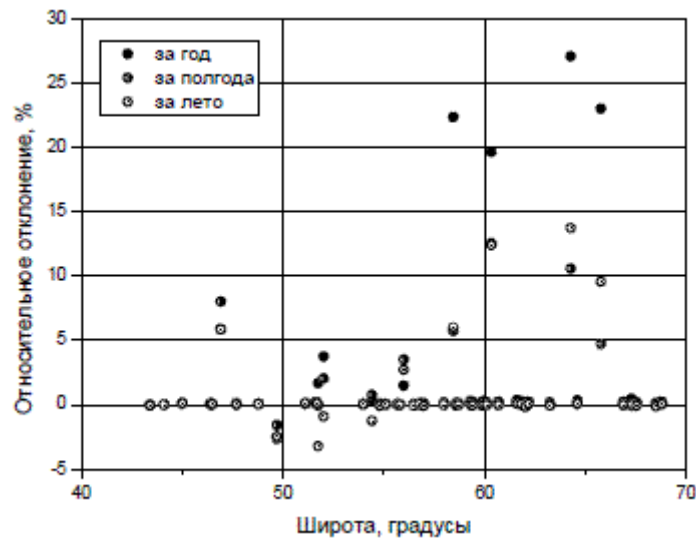


Рис. 2.2. Относительное отклонение сумм суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность в зависимости от широты за год, теплые полгода, летние месяцы.

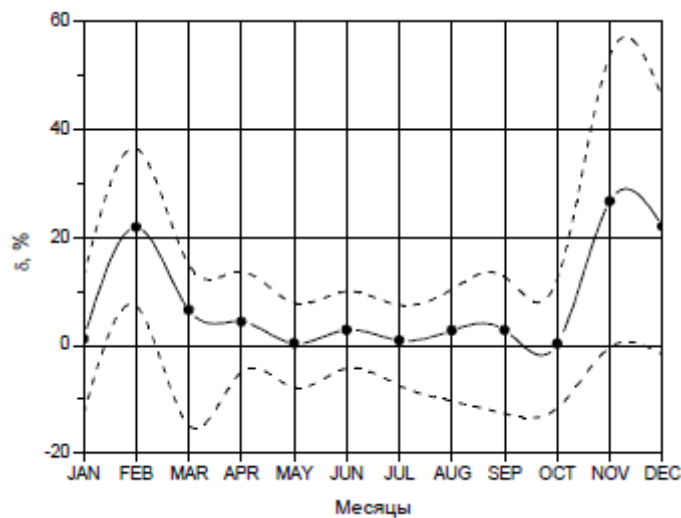


Рис. 2.3 Среднее по выборке из 50 пунктов сравнения относительное отклонение данных NASA в зависимости от времени (сплошная линия) и ее стандартное отклонение (пунктир).

Детальный анализ достоверности данных NASA был проведен с использованием актинометрических измерений метеорологической обсерватории МГУ за два периода наземных наблюдений: 1961-1990 гг. и 1991-2000 гг. (рис. 18). В этом случае надежность исходных данных со-



мнений не вызывает, поскольку метеообсерватория МГУ оснащена регулярно поверяемыми актинометрическими приборами; а непрерывная автоматизированная регистрация измерений ведется здесь, начиная с 1954 г. Для сравнения были использованы данные NASA SSE, относящиеся к узлу сетки, максимально приближенному по координатам к Краснодарскому краю.

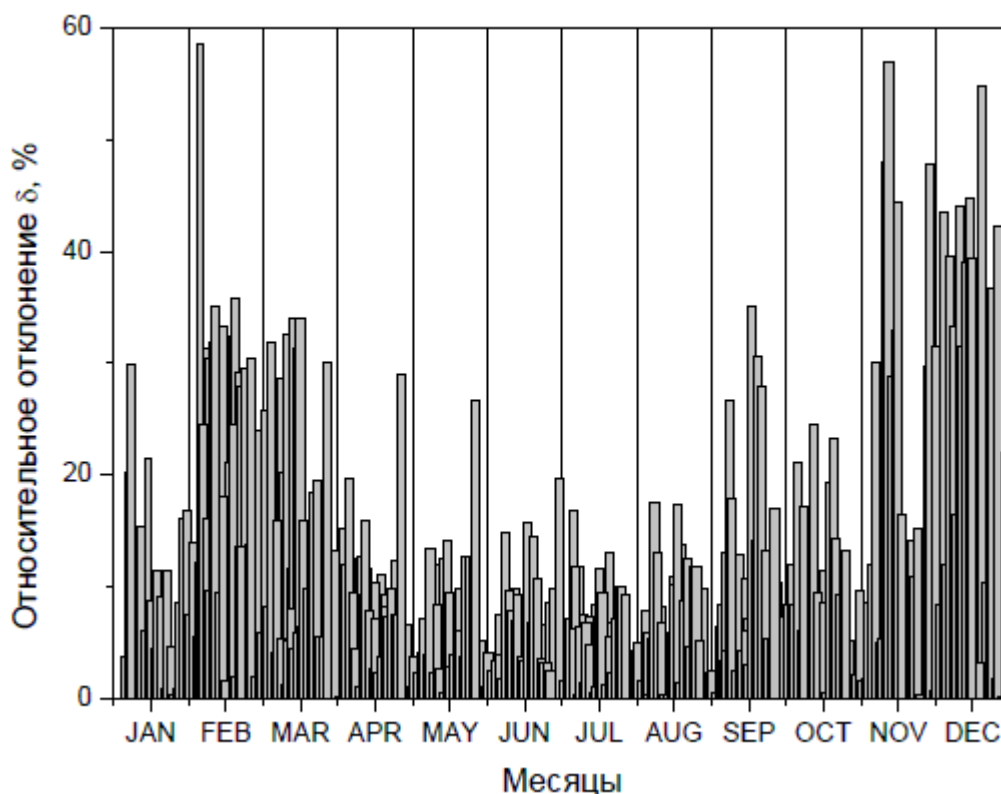


Рис. 2.4 Изменение в течение года относительного отклонения данных NASA от результатов наземных измерений (месячная сумма суммарной солнечной радиации) для различных метеостанций.

Принципиальных различий в распределении месячных сумм суммарной солнечной радиации по данным NASA SSE и МО МГУ и в этом случае не было выявлено. Самая большая разница в данных наблюдается для июля, но в относительных величинах оно не превышает 15%. Это подтверждают графики распределения относительного отклонения месячных сумм суммарной солнечной радиации, которые практически одинаковы для обеих

периодов (рис. 2.4). Погрешность максимальна (до 35%) в зимние месяцы, а в период с марта по октябрь не превышает 10%.

Таким образом, относительное отклонение данных NASA SSE от результатов наземных измерений месячных сумм солнечной радиации для большей части солнечных месяцев и регионов России не превышает 10...15%, что вполне приемлемо для инженерных расчетов эффективности использования солнечных установок. Величиной этого отклонения, определяющей погрешность, обусловлен выбор шага изолиний прихода солнечной радиации ( $0,5 \text{ кВтч/м}^2\text{день}$ ) при картографической обработке данных.

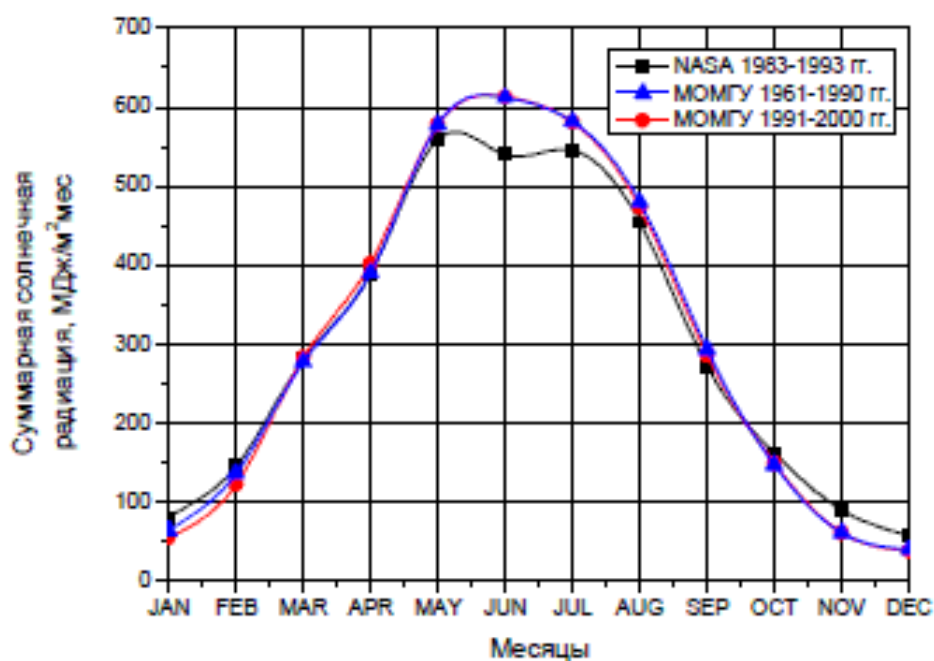


Рис. 2.5 Месячные суммы суммарной солнечной радиации по данным NASA SSE

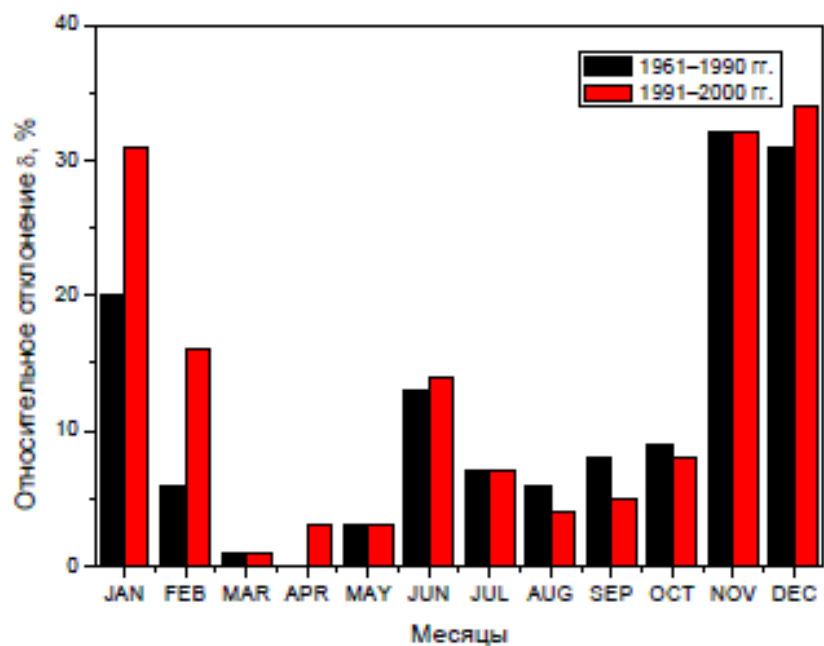


Рис. 2.6 Относительная погрешность месячных сумм суммарной солнечной радиации

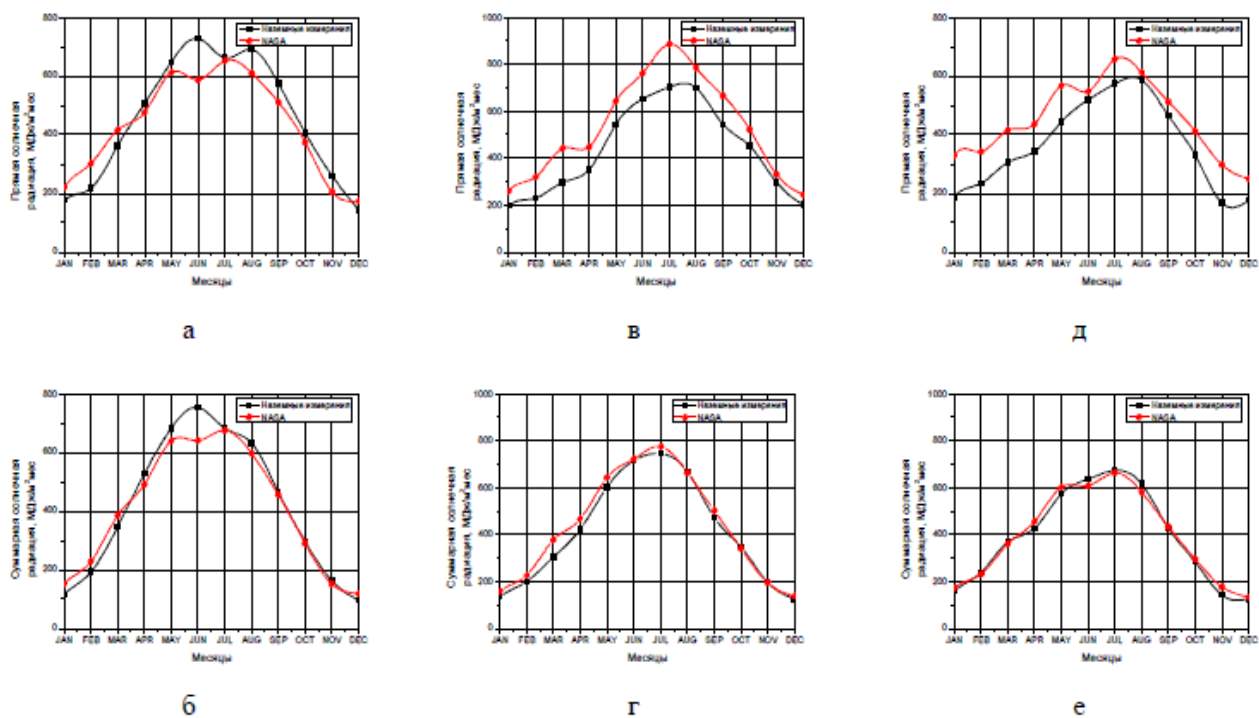


Рис. 2.7 Месячные суммы прямой солнечной радиации, поступающей на нормальную к лучу поверхность, и суммарной солнечной радиации по измерениям на актинометрических станциях по данным NASA SSE

Поскольку достоверность данных о прямой солнечной энергии имеет существенное значение для некоторых типов солнечных электростанций (использующих концентраторы солнечной энергии), мы также провели сравнительный анализ соответствующих значений в базе данных НАСА. Для сравнения мы использовали данные метеорологических станций о прямой и полной солнечной энергии; типичные результаты этого сравнения приведены на рис. 2.8.

Рис. 2.8 Диаграммы рассеяния для полученных из базы данных NASA и из результатов наземных актинометрических наблюдений значений: а - суммарной солнечной радиации, б - прямой солнечной радиации

Исследуемый регион расположен в относительно узком широтном диапазоне:  $43\text{--}47^\circ$  с. ш. Поэтому сезонные колебания высоты солнца над горизонтом можно охарактеризовать данными для  $45^\circ$  с. ш. Полуденная высота солнца на  $45^\circ$  с. ш. на 15-е число каждого месяца года такова, в угловых градусах, как показано в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Полуденная высота солнца на  $45^\circ$  с. ш. на 15-е число каждого месяца года такова, в угловых градусах

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
24,8	33,2	43,8	55,7	64,8	69,3	67,6	60,2	49,1	37,6	27,6	22,7

Высота солнца превышает  $30^\circ$  в течение девяти месяцев года. Существенной характеристикой солярного климата и экологических условий окружающей среды является продолжительность солнечного сияния.

Фактическая продолжительность солнечного сияния зависит от широты местности, сезона года, режима облачности и близости горизонта [29, с. 36]. Отдельно выделяется максимально возможная (при безоблачном небе) продолжительность солнечного сияния, зависящая лишь от астрономических факторов. Также солнечное сияние характеризуется отноше-

нием фактической продолжительности солнечного сияния к продолжительности сияния солнца при безоблачном небе на данной широте.

В годовом ходе максимум месячных сумм суммарной и прямой радиации на горизонтальную поверхность приходится на июль. Минимальный приход радиации наблюдается в декабре.

В зимние месяцы альbedo мало отличается от летних, так как на побережье снега мало. Имеющиеся в регионе многолетние данные наблюдений за солнечным сиянием, с помощью универсального гелиографа, и расчётов относительной продолжительности солнечного сияния при ведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Продолжительность солнечного сияния (часы)

Метео-станция	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Темрюк	48	68	123	180	24 7	28 2	322	301	226	14 9	84	46	207 6
Краснодар	64	80	123	174	23 9	28 9	322	294	235	17 0	95	61	214 6
Армавир	86	101	142	173	24 3	27 8	307	289	225	17 9	11 8	78	221 9
Анапа	87	79	153	196	26 2	31 4	352	321	257	19 5	11 8	82	241 6
Туапсе	95	93	135	166	23 5	29 7	329	312	249	19 8	13 3	88	233 0
Сочи	84	98	128	158	22 3	28 3	313	305	252	19 4	12 1	94	225 3
Среднее	73	81	135	176	23 8	28 6	316	298	238	17 6	10 4	67	218 7

В годовом ходе наименьшая продолжительность солнечного сияния приходится преимущественно на декабрь, а наибольшая — на июль. Число

часов солнечного сияния в декабре в 4 —5 раз меньше, чем в июле. В отношении территориального распределения годовой продолжительности солнечного сияния можно отметить следующее: во -первых, небольшие вариации значений в береговой зоне со слаб о выраженным максимумом в Анапе; во-вторых, существенное уменьшение значений в горной зоне региона [24, с. 48].

Относительная продолжительность солнечного сияния отражает влияние, по существу, только облачности. В зимние месяцы значения этой величины в 2-3 раза меньше, чем в летние. Годовые её значения уменьшаются с высотой, что следует из сопоставления данных на профилях Новороссийск — Маркотхский перевал и Сочи – Красная Поляна, переходящих из береговой зоны в горную [20, с. 41]. В дни со сплошным облачным покрытием неба гелиограф не фиксирует прихода прямой солнечной радиации. Количество таких дней без Солнца составляет около десяти и более в зимние месяцы и сводится к нулю летом. В прибрежной зоне их значительно меньше, чем в горной зоне (табл. 2.3)

Таблица 2.3. Среднее число дней без солнца [28, с. 119].

Метеостанция	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Темрюк	16	11	7	3	2				1	5	10	16	71
Краснодар	13	9	7	4	2				1	3	9	13	61
Армавир	12	7	7	4	2				2	3	9	11	57
Анапа	9	8	5	3	2	1				2	6	9	45
Туапсе	10	9	8	5	2	1			1	2	6	10	54
Сочи	10	8	8	6	3				1	2	7	9	54

Среднее	12	9	7	5	3	1	0,3	0,2	1	3	8	13	62
---------	----	---	---	---	---	---	-----	-----	---	---	---	----	----

Годовой ход изменения количества ясных и пасмурных дней практически одинаков для всех метеостанций региона. С декабря по май здесь значительно меньше ясных дней, чем пасмурных. С июня по сентябрь ясные дни, наоборот, преобладают над пасмурными.

В октябре и ноябре число и тех, и других более или менее выравнивается. По наблюдаемой годовой динамике ясной и облачной погоды регион похож на районы со средиземноморским субтропическим климатом и отличается от них лишь менее выраженным контрастом зимнего и летнего сезонов.

В направлении от северо-западной части области к юго-восточной части количество ясных дней несколько уменьшается, а пасмурных дней увеличивается. Такое же, но более резкое изменение рассматриваемых величин происходит при перемещении из прибрежной зоны в горную зону. Существенной характеристикой солнечного климата и условий окружающей среды является продолжительность солнечного сияния. Она определяется широтой и рельефом местности, а также облачным покровом. Долгосрочные данные, имеющиеся в нашем регионе для наблюдения солнечного сияния с помощью универсального гелиографа и расчета относительной продолжительности солнечного сияния, приведены в табл. 2.4.

Наименьшая продолжительность солнечного сияния приходится преимущественно на декабрь.

Относительная продолжительность солнечного сияния отражает влияние, по существу, только облачного покрова. В зимние месяцы значения этого показателя относительно невелики. Его значения для холодного времени года увеличиваются с высотой, что следует из сравнения данных по профилям русско-Мархоцкого перевала и Сочи – Красной Поляны, которые проходят из прибрежной зоны в горную.

Таблица 2.4. Продолжительность солнечного сияния (в часах, числитель) и отношение наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной (в %, знаменатель) в холодный период года

Метеостанция	I	II	III	X	XI	XII	Год
Куцевская	$\frac{68}{23}$	$\frac{56}{20}$	$\frac{137}{38}$	$\frac{177}{50}$	$\frac{86}{29}$	$\frac{60}{20}$	$\frac{584}{30}$
Краснодар	$\frac{80}{30}$	$\frac{72}{26}$	$\frac{148}{37}$	$\frac{181}{58}$	$\frac{110}{40}$	$\frac{76}{28}$	$\frac{667}{39}$
Мархотский перевал	$\frac{59}{24}$	$\frac{56}{22}$	$\frac{106}{30}$	$\frac{147}{46}$	$\frac{83}{33}$	$\frac{46}{20}$	$\frac{497}{47}$
Новороссийск	$\frac{85}{34}$	$\frac{78}{30}$	$\frac{140}{43}$	$\frac{182}{60}$	$\frac{114}{44}$	$\frac{74}{31}$	$\frac{673}{41}$
Туапсе	$\frac{95}{35}$	$\frac{93}{34}$	$\frac{135}{40}$	$\frac{198}{62}$	$\frac{133}{48}$	$\frac{88}{34}$	$\frac{742}{43}$
Красная поляна	$\frac{62}{30}$	$\frac{76}{31}$	$\frac{107}{35}$	$\frac{155}{54}$	$\frac{99}{43}$	$\frac{64}{34}$	$\frac{563}{39}$
Сочи	$\frac{84}{32}$	$\frac{98}{36}$	$\frac{128}{37}$	$\frac{194}{61}$	$\frac{121}{45}$	$\frac{94}{37}$	$\frac{719}{23}$

В дни со сплошным облачным покрытием неба гелиограф не фиксирует прихода прямой солнечной радиации. Количество таких дней без солнца составляет около десяти и более в зимние месяцы и сходит к нулю летом.

## 2.2 Радиационный баланс Краснодарского края



Данные по солнечной радиации для двух станций приведены в таблице 2.5 где видно, что суммарная радиация в Сочи превышает суммарную радиацию в Краснодаре на 12 %, при этом продолжительность солнечного сияния в Сочи на 3% меньше, чем в Краснодаре, а количество дней без солнца всего на 3% меньше.

Таблица 2.5. Справочные данные о солнечной радиации

Пункт	$S_H$	$S'_Г$	$Q_Я$	$S_{HO}$	$S'_{ГО}$	$D$	$Q_О$	$B$	$T_{CC}$	$N_{BC}$
Краснодар	2626	1389	1846	1123	666	588	1253	609	2170	62
Сочи	2938	1579	1994	1392	825	576	1401	636	2115	60
Разность,%	12	14	8	24	24	-2	12	4	-3	-3

В таблице 1.2 указаны следующие параметры солнечной радиации:

$S_H$  – сумма прямой солнечной радиации на нормальную к лучу поверхность при ясном небе (кВт/м<sup>2</sup>);

$S'_Г$  – сумма прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе (кВт/м<sup>2</sup>);

$Q_Я$  – сумма суммарной солнечной радиации при ясном небе (кВт/м<sup>2</sup>);

$S_{HO}$  – сумма прямой солнечной радиации на нормальную к лучу поверхность при средних условиях облачности (кВт/м<sup>2</sup>);

$S'_{ГО}$  – сумма прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности (кВт/м<sup>2</sup>);

$D$  – сумма рассеянной солнечной радиации при средних условиях облачности (кВт/м<sup>2</sup>);

$Q_О$  – сумма суммарной солнечной радиации при средних условиях облачности (кВт/м<sup>2</sup>);

$B$  – радиационный баланс деятельной поверхности при средних условиях облачности (кВт/м<sup>2</sup>);

$T_{CC}$  – продолжительность солнечного сияния, ч;

НБС – число дней без солнца.

Для других пунктов Краснодарского края данных в справочнике нет, поэтому было принято решение использовать базу данных NASA и программу RETScreen [28, с. 146].

Показано, что погрешность данных NASA по средним суммам солнечной радиации для большинства регионов России не превышает 15 %, что для инженерных расчетов эффективности использования солнечных установок вполне приемлемо [29, с.105].

На рис. 2.9 показана суммарная месячная радиация в Краснодаре.

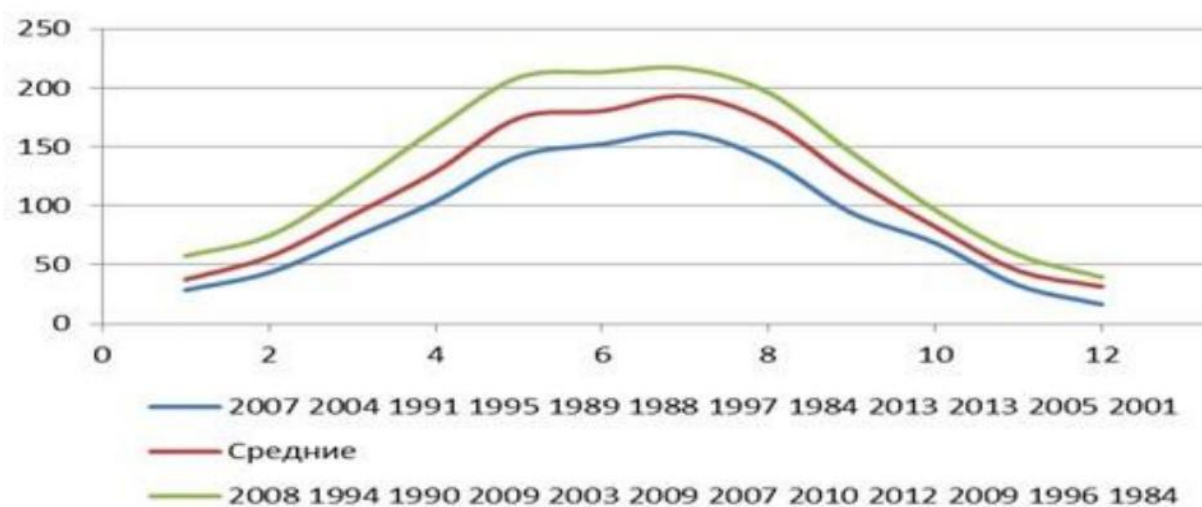


Рис. 2.9. Значения суммарной месячной солнечной радиации для Краснодара

Минимальная суммарная солнечной радиация наблюдается в декабре и составляет  $17 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ , а максимальная - в июле и составляет  $210 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ . Среднее годовое значение суммарной солнечной радиации составляет  $110 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ .

На рис. 2.10 показана суммарная месячная радиация в Тихорецке.

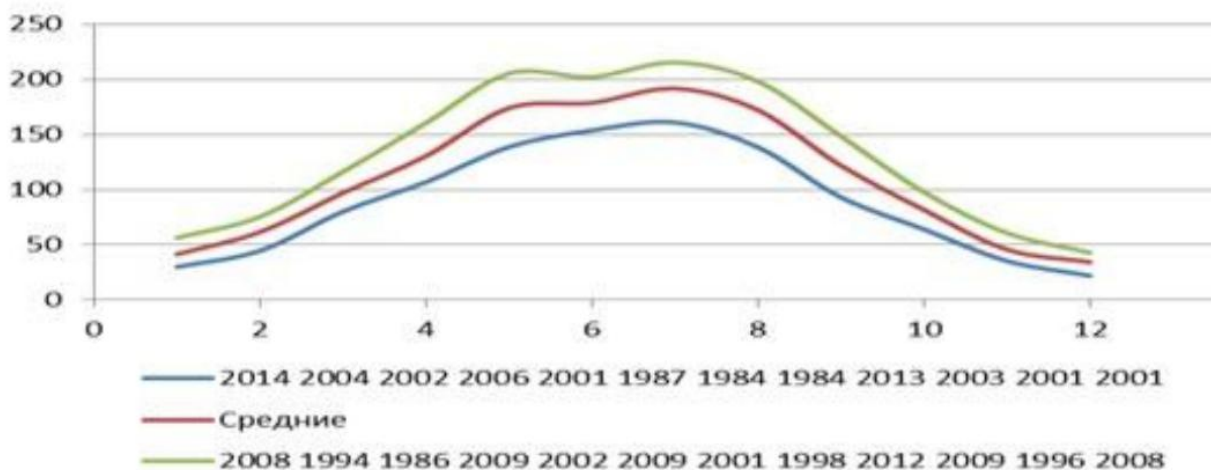


Рис. 2.10. Значения суммарной месячной солнечной радиации для Тихорецка

Минимальная суммарная солнечная радиация наблюдается в декабре и составляет 22 кВт·ч/м<sup>2</sup>, а максимальная - в июле и составляет 215 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Среднее годовое значение суммарной солнечной радиации составляет 111 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

На рис. 2.11 показана суммарная месячная радиация в Армавире.

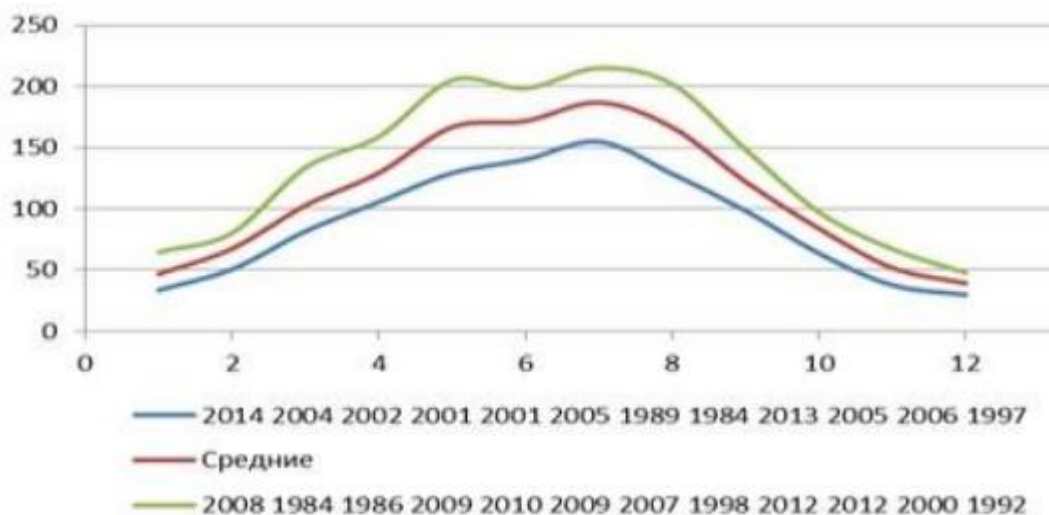


Рис. 2.11. Значения суммарной месячной солнечной радиации для Армавира

Минимальная суммарная солнечная радиация наблюдается в декабре и составляет 37 кВт·ч/м<sup>2</sup>, а максимальная - в июле и составляет 220 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Среднее годовое значение суммарной солнечной радиации составляет 111 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

На рис. 2.12 показана суммарная месячная радиация в Темрюке.

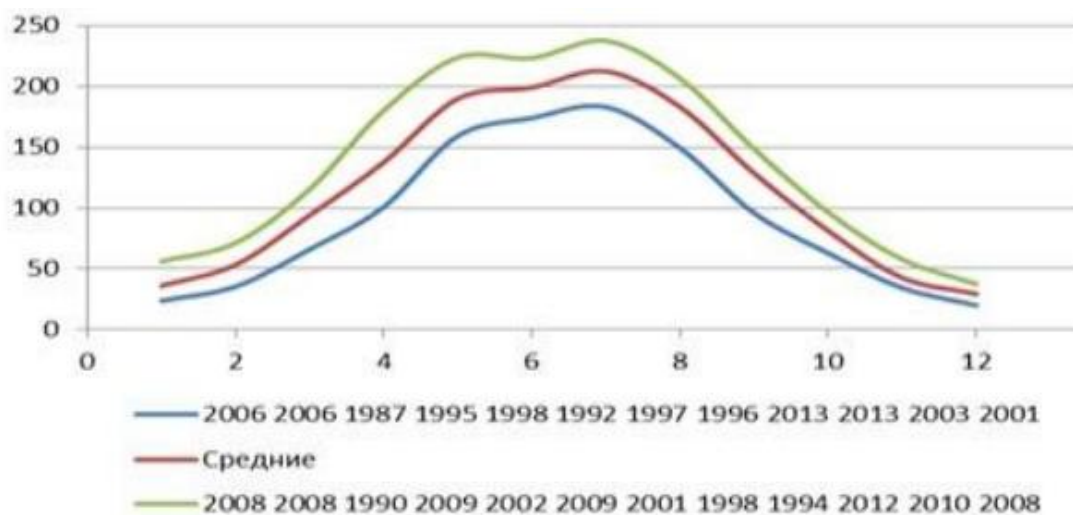


Рис. 2.12. Значения суммарной месячной солнечной радиации для Темрюка

Минимальная суммарная радиация наблюдается в декабре и составляет 19 кВт·ч/м<sup>2</sup>, а максимальная - в июле и составляет 243 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Среднее годовое значение суммарной солнечной радиации составляет 116 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

На рис. 2.13 показана суммарная месячная радиация в Анапе.

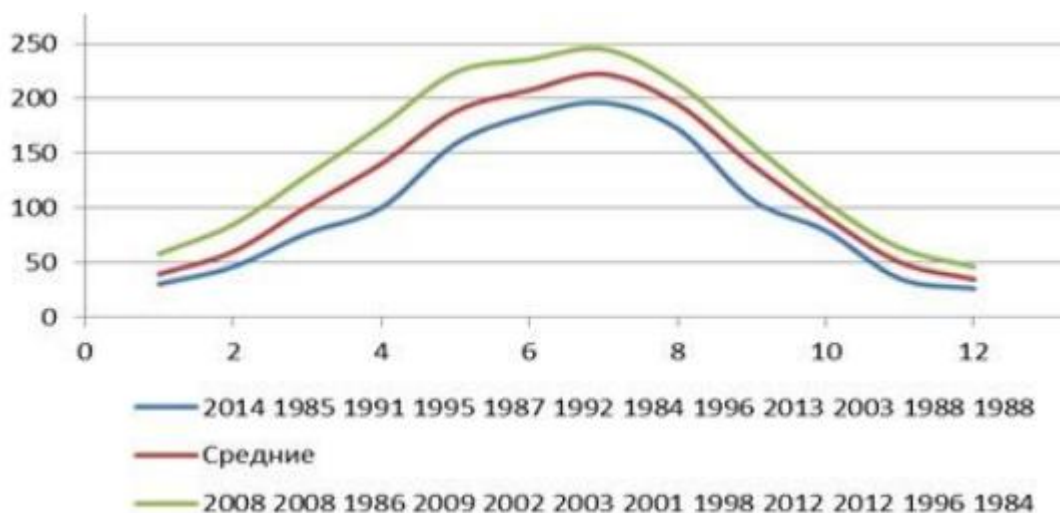


Рис. 2.13. Значения суммарной месячной солнечной радиации для Анапы

Минимальная наблюдается в декабре и составляет в среднем 23 кВт·ч/м<sup>2</sup>, а максимальная - в июле и составляет в среднем 250 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Среднее годовое значение суммарной солнечной радиации составляет 123 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

На рис. 2.14 показана суммарная месячная солнечная радиация в Генджике.

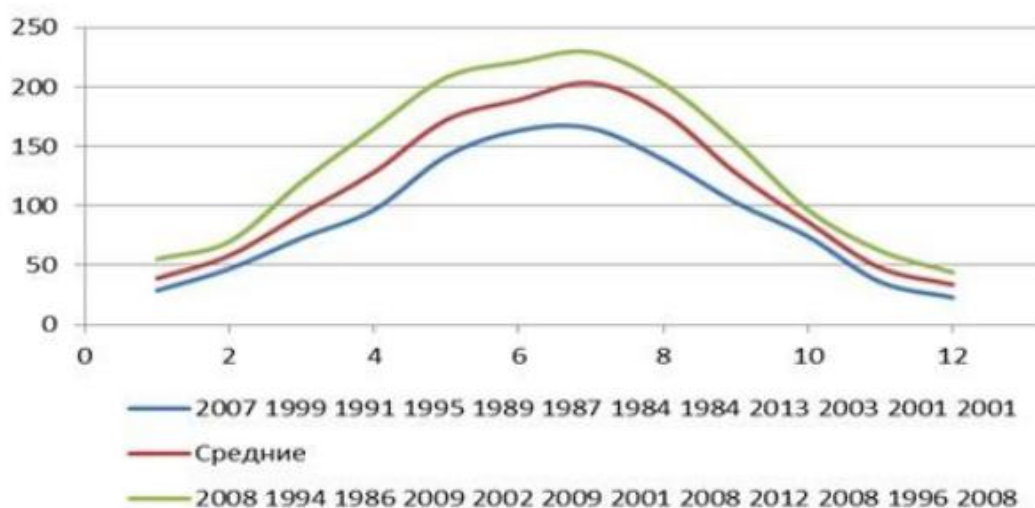


Рис. 2.14. Значения суммарной месячной солнечной радиации для Генджика

Минимальная суммарная радиация наблюдается в декабре и составляет 21 кВт·ч/м<sup>2</sup>, а максимальная - в июле и составляет 225 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Среднее годовое значение суммарной солнечной радиации составляет 113 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

На рис. 2.15 показана суммарная месячная солнечная радиация в Туапсе.

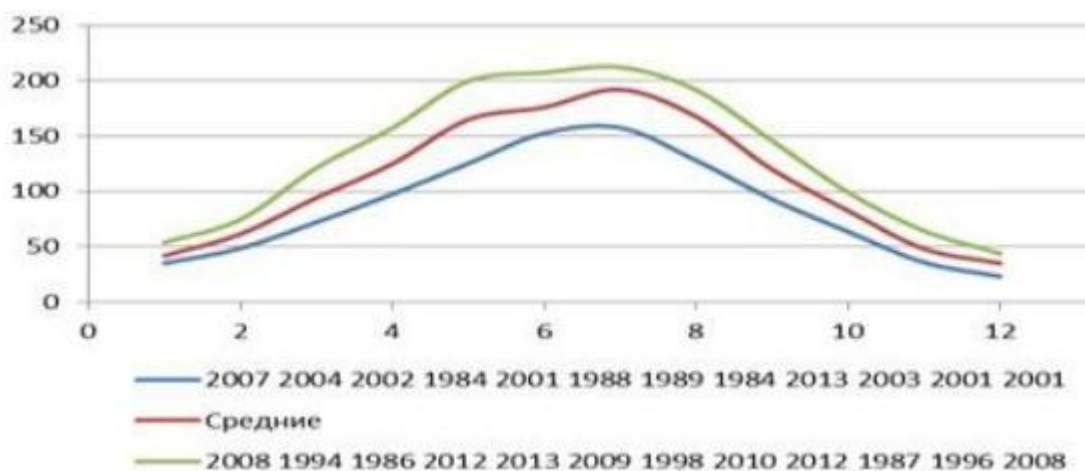


Рис. 2.15. Значения суммарной месячной солнечной радиации для Туапсе

Минимальная суммарная солнечная радиация наблюдается в декабре и составляет  $24 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ , а максимальная - в июле и составляет  $210 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ . Среднее годовое значение суммарной солнечной радиации составляет  $109 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ .

На рис. 2.16 показана суммарная месячная солнечная радиация в Сочи.

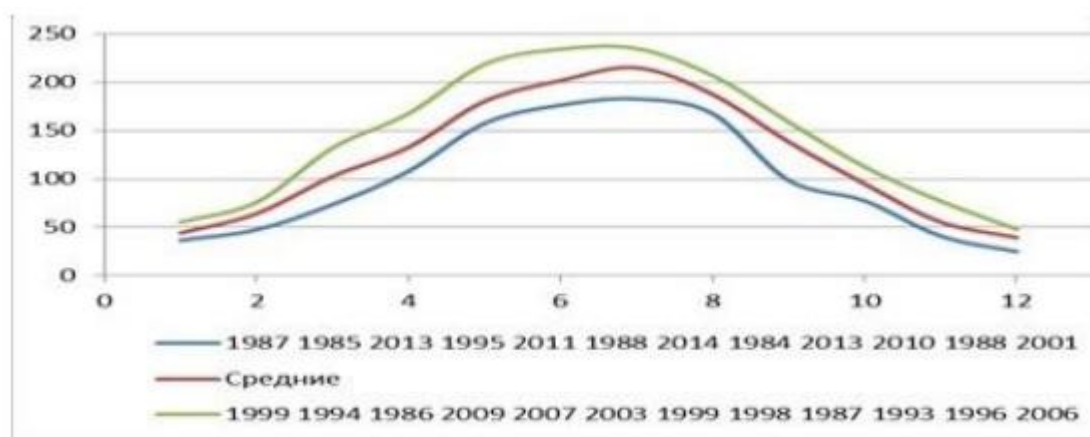


Рис. 2.16. Значения суммарной месячной солнечной радиации для Сочи

Минимальная суммарная солнечная радиация наблюдается в декабре и составляет  $25 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ , а максимальная - в июле и составляет  $243 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ . Среднее годовое значение суммарной солнечной радиации составляет  $121 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ .

Ниже представлены годовые суммы солнечной радиации по нескольким метеостанциям Краснодарского края за период 1984-2010 гг., где мы можем наблюдать приход солнечной радиации, её изменчивость и тенденцию.

Многолетний график прихода солнечной радиации на метеостанции г. Краснодара показан на рис. 2.17.

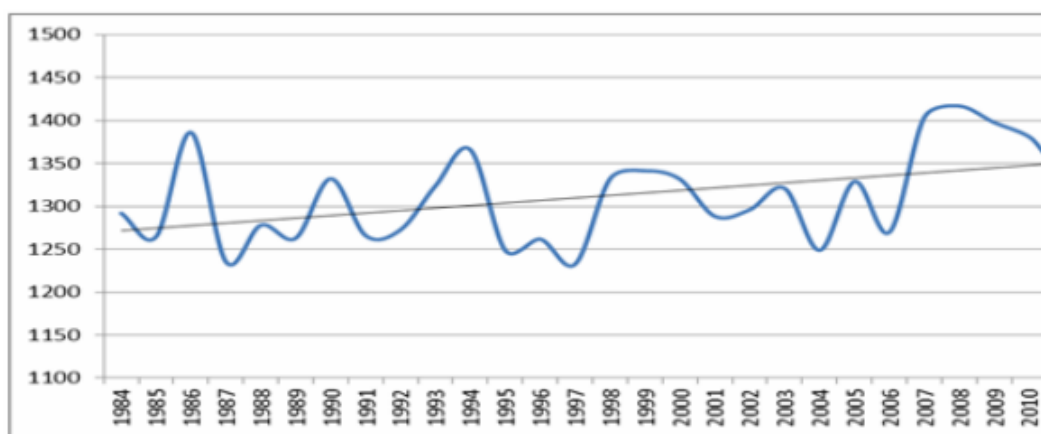


Рис. 2.17. Годовые значения суммарной солнечной радиации для Краснодара

Абсолютный минимум был зафиксирован в 1987 г. и составил 1233 кВт·ч/м<sup>2</sup>; максимум - 1423 кВт·ч/м<sup>2</sup> в 2007 г.

Средняя многолетняя сумма солнечной радиации для Краснодара составляет 1316 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Суммарная радиация имеет тенденцию к повышению.

Многолетний график прихода солнечной радиации на метеостанции г. Тихорецка показан на рис. 2.18.

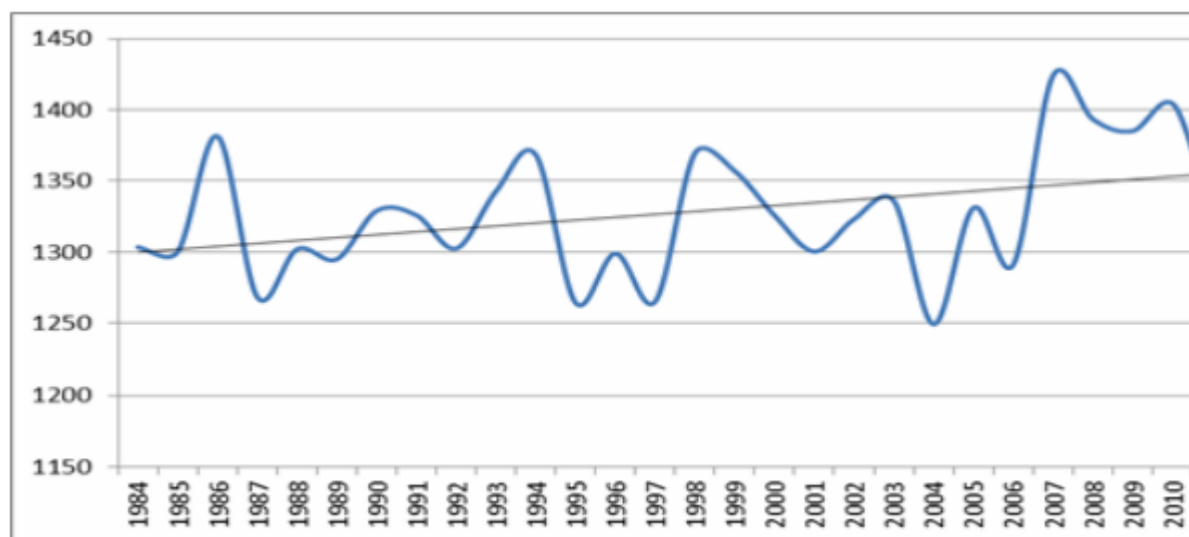


Рис. 2.18. Годовые значения суммарной солнечной радиации для Тихорецка

Абсолютный минимум был зафиксирован в 2004 г. и составил 1250 кВт·ч/м<sup>2</sup>; максимум - 1425 кВт·ч/м<sup>2</sup> в 2007 г. Средняя многолетняя сумма радиации для Тихорецка составляет 1331 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Суммарная радиация имеет тенденцию к повышению.

Многолетний график прихода солнечной радиации на метеостанции г. Армавира показан на рис. 2.19.

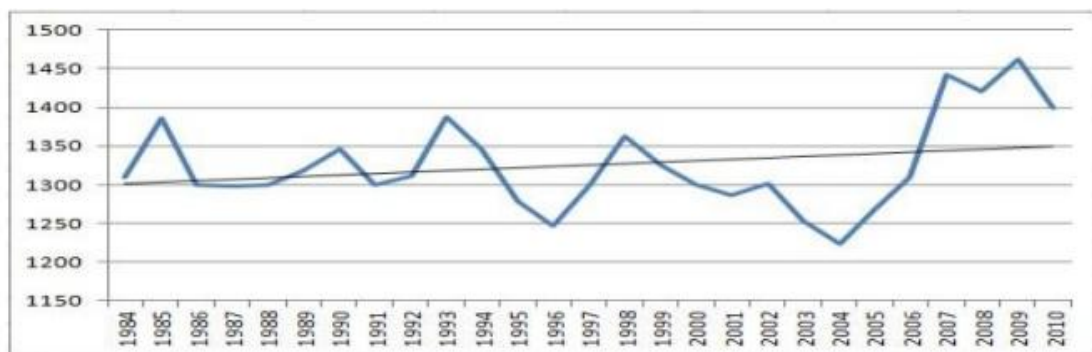


Рис. 2.19. Годовые значения суммарной солнечной радиации для Армавира

Абсолютный минимум был зафиксирован в 2004 г. и составил 1200 кВт·ч/м<sup>2</sup>; максимум - 1462 кВт·ч/м<sup>2</sup> в 2010 г. Средняя многолетняя сумма солнечной радиации для Армавира составляет 1335 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Сумма солнечной радиации имеет тенденцию к повышению.

Многолетний график прихода солнечной радиации на метеостанции г. Темрюка показан на рис. 2.20.

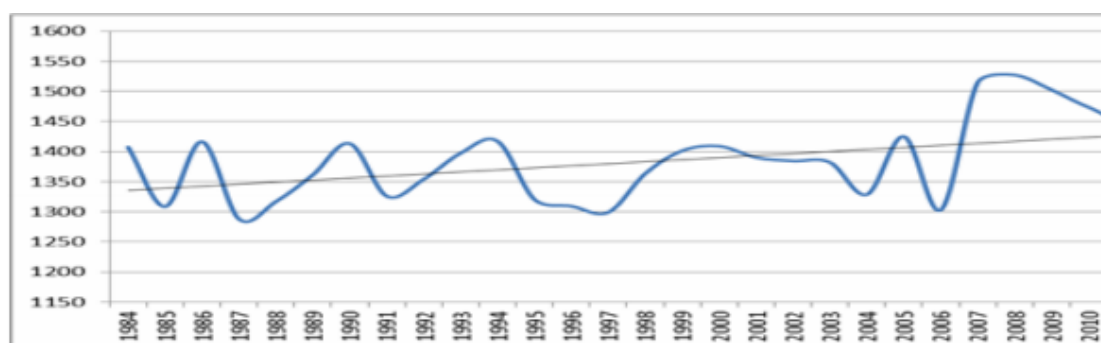


Рис. 2.20. Годовые значения суммарной солнечной радиации для Темрюка



Абсолютный минимум был зафиксирован в 1987 г. и составил 1288 кВт·ч/м<sup>2</sup>; максимум - 1532 кВт·ч/м<sup>2</sup> в 2008 г. Средняя многолетняя сумма радиации для Темрюка составляет 1387 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Сумма солнечной радиации имеет тенденцию к повышению.

Многолетний график прихода солнечной радиации на метеостанции г. Анапы показан на рис. 2.21.

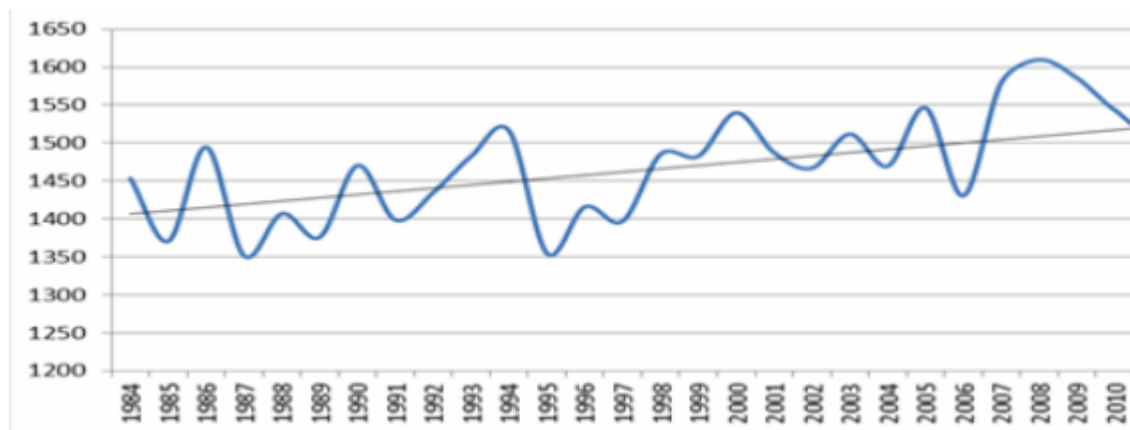


Рис. 2.21. Годовые значения суммарной солнечной радиации для Анапы

Абсолютный минимум был зафиксирован в 1987 г. и составил 1350 кВт·ч/м<sup>2</sup>; максимум - 1613 кВт·ч/м<sup>2</sup> в 2008 г. Средняя многолетняя сумма радиации для Анапы составляет 1471 кВт·ч /м<sup>2</sup>. Сумма радиации имеет тенденцию к повышению.

Многолетний график прихода солнечной радиации на метеостанции г. Геленджика показан на рис. 2.21.

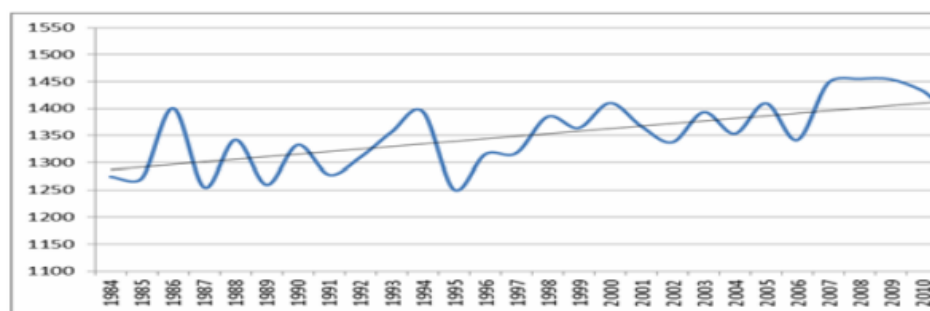


Рис. 2.21. Годовые значения суммарной солнечной радиации для Геленджика

Абсолютный минимум был зафиксирован в 1995 г. и составил 1250 кВт·ч/м<sup>2</sup>; максимум - 1459 кВт·ч/м<sup>2</sup> в 2007 г. Средняя многолетняя сумма радиации для Геленджика составляет 1358 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Сумма радиации имеет тенденцию к повышению.

Из представленных выше рис. 2.10 -2.15 следует, что приход солнечной радиации испытывает сильные колебания в межгодовом ходе. Диапазон колебаний превышает 10% от средних величин прихода радиации. Эта закономерность характерна также для метеостанций Сочи и Туапсе. Данные для них мы рассмотрим ниже в сочетании с данными по атмосферным осадкам.

Многолетний график прихода солнечной радиации на метеостанции г. Сочи показан на рис. 2.22.

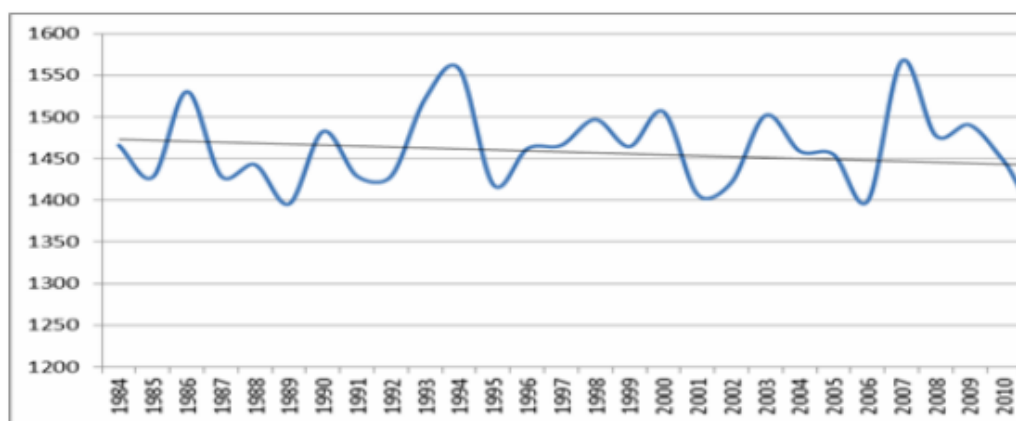


Рис. 2.22. Годовые значения суммарной солнечной радиации для Сочи

Абсолютный минимум был зафиксирован в 1988 г. и составил 1398 кВт·ч/м<sup>2</sup>, максимум - 1567 кВт·ч/м<sup>2</sup> в 2007 г. Средняя многолетняя сумма радиации для Сочи составляет 1456 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Сумма солнечной радиации имеет тенденцию к понижению.

Приход солнечной радиации к земной поверхности, как известно, более всего зависит от облачности. В качестве характеристики общей облачности логично использовать количество атмосферных осадков. С этой целью мы сопоставили многолетний ход радиации с ходом атмосферных осадков по тем же годам.

Для метеостанции Сочи осадки представлены на рис. 2.23.

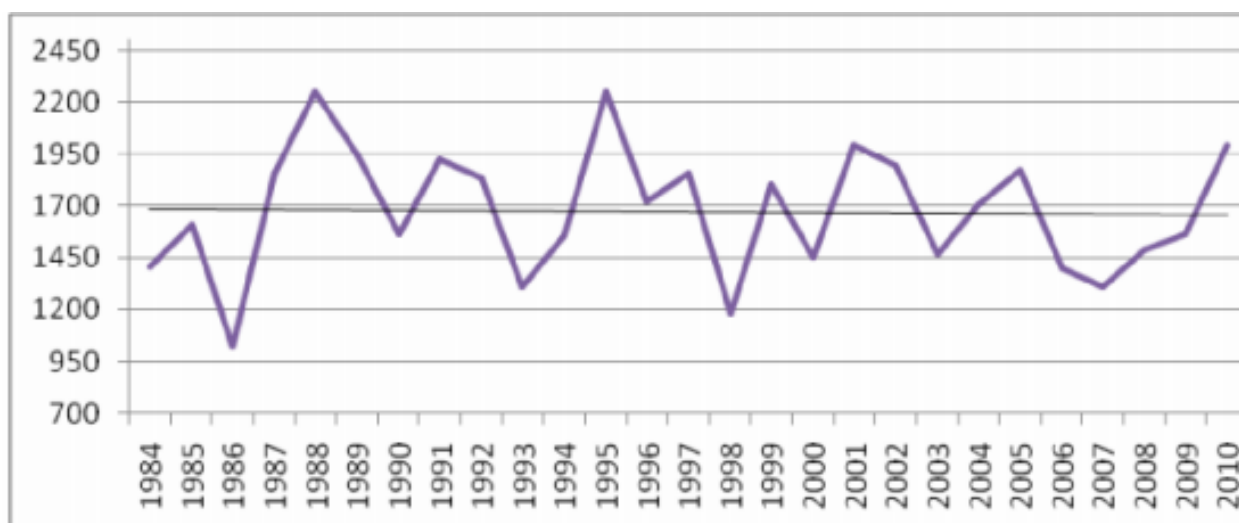


Рис.2.23. Осадки метеостанции г. Сочи

Из сравнения графиков на рис. 2.21 и 2.22 видно, что повышенные притоки радиации, как правило, приходится на годы с пониженным количеством осадков. Аналогичным образом, в годы с уменьшенным притоком радиации наблюдаются повышенные значения осадков. Например, максимальное поступление радиации в 2007 году связано с уменьшением количества осадков в том же году. Минимальная радиация в 1988 году соответствует повышенному количеству осадков [14, с.73].

Визуальное сопоставление графиков на рис. 2.21 и 2.22 не дает ясной картины. Ввиду этого мы построили график корреляции данных по приходу солнечной радиации с количеством осадков (рис. 2.23).

Из этого графика отчетливо следует, что поступление солнечной радиации уменьшается с увеличением количества осадков. Аналогичную работу по сопоставлению солнечной радиации с атмосферными осадками мы проделали для метеостанции Туапсе. Это показано на рис. 2.24-2.26.

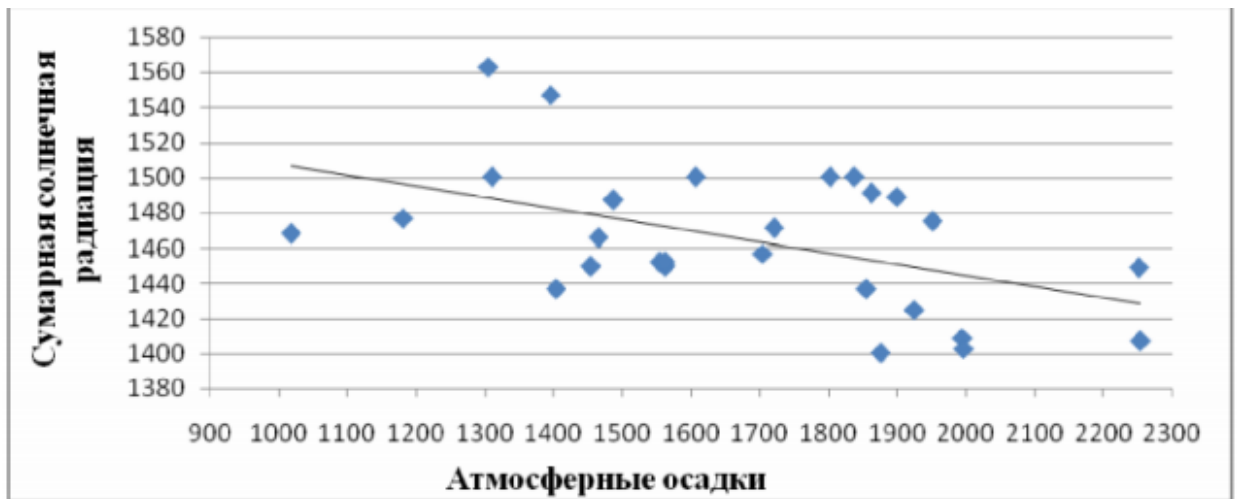


Рис. 2.23. График корреляции годовых сумм радиации и годовых сумм осадков на м/с Сочи.

Многолетний график прихода солнечной радиации на метеостанции г. Туапсе показан на рис. 2.24.

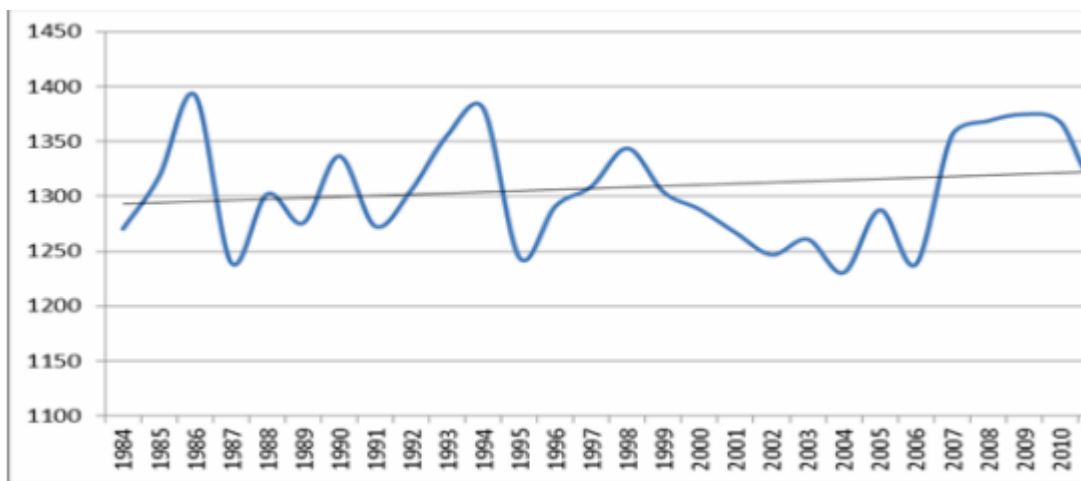


Рис. 2.24. Годовые значения суммарной солнечной радиации для Туапсе

Абсолютный минимум был зафиксирован в 2004 г. и составил 1235 кВт·ч/м<sup>2</sup> ; максимум - 1394 кВт·ч/м<sup>2</sup> в 1985 г. Средняя многолетняя сумма радиации для Туапсе составляет 1309 кВт·ч/м<sup>2</sup> . Сумма радиации имеет тенденцию к повышению.

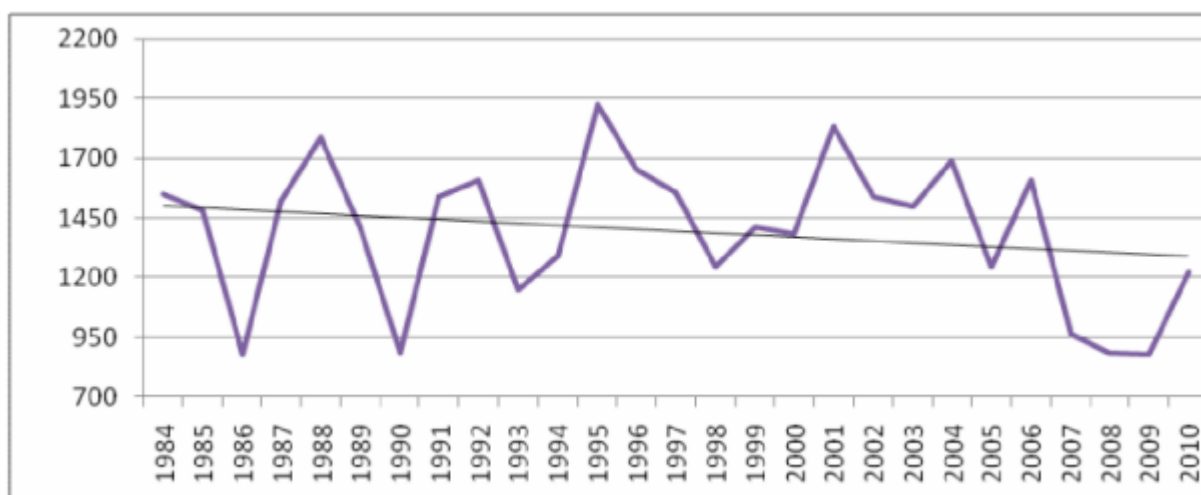


Рис. 2.25. Годовые значения атмосферных осадков в Туапсе

Из сравнения графиков на рис. 2.24 и 2.25 можно заметить, что временной ход радиации находится в противофазе с ходом осадков. То же самое имеет место на графиках по Сочи (рис. 2.18 и 2.19). На рис. 2.26 показано, что суммарная радиация в Туапсе уменьшается с увеличением количества осадков.

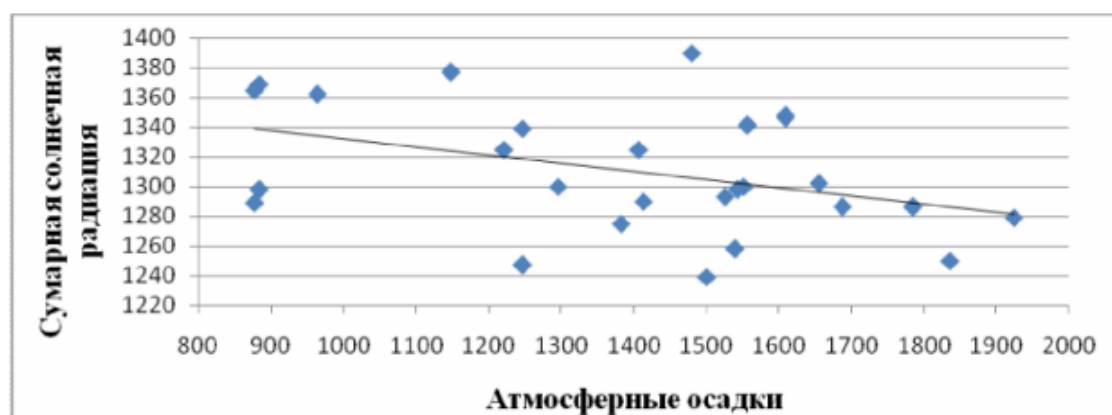


Рис. 2.26. График корреляции годовых сумм радиации и годовых сумм осадков на м/с Туапсе

В целом по краю видно, что графики флуктуаций солнечной радиации по годам имеют минимумы и максимумы. Эти колебания тесно связаны с выпадением осадков. За рассматриваемый период (1984 -2010 гг.) наблюдается тенденция к ее увеличению - кроме Сочи.

Оценка расхождения справочной информации и данных NASA/RETScreen приведены в табл. 2.6 и табл. 2.7.

Таблица 2.6 Сравнение данных справочника и NASA/RETScreen для Краснодара

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Справочные данные												
36	52	91	121	167	182	186	160	119	78	37	24	1253
Данные NASA/RETScreen												
38	57	92	129	175	180	193	171	123	82	45	31	1316
Разность между данными NASA/RETScreen и справочными данными												
1	5	1	8	8	-1	6	11	4	4	8	8	62
Разность между данными NASA/RETScreen и справочными данными, %												
4	9	1	6	5	-1	3	7	3	5	21	32	5

Таблица 2.7 Сравнение данных справочника и NASA/RETScreen для Сочи

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Справочные данные												
42	59	96	127	166	205	206	180	135	96	53	36	1401
Данные NASA/RETScreen												
44	64	103	133	180	202	215	187	138	95	56	39	1456
Разность между данными NASA/RETScreen и справочными данными												
2	6	6	6	14	-3	9	7	4	-1	3	3	54
Разность между данными NASA/RETScreen и справочными данными, %												
4	10	7	4	8	-2	4	4	3	-1	5	8	4

В целом, из анализа инсоляционного режима можно сделать вывод, что количество суммарной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность в течение года, в среднем по территории Краснодарского края составляет 1200-1400 кВт/ч на квадратный метр (рис. 2.27).

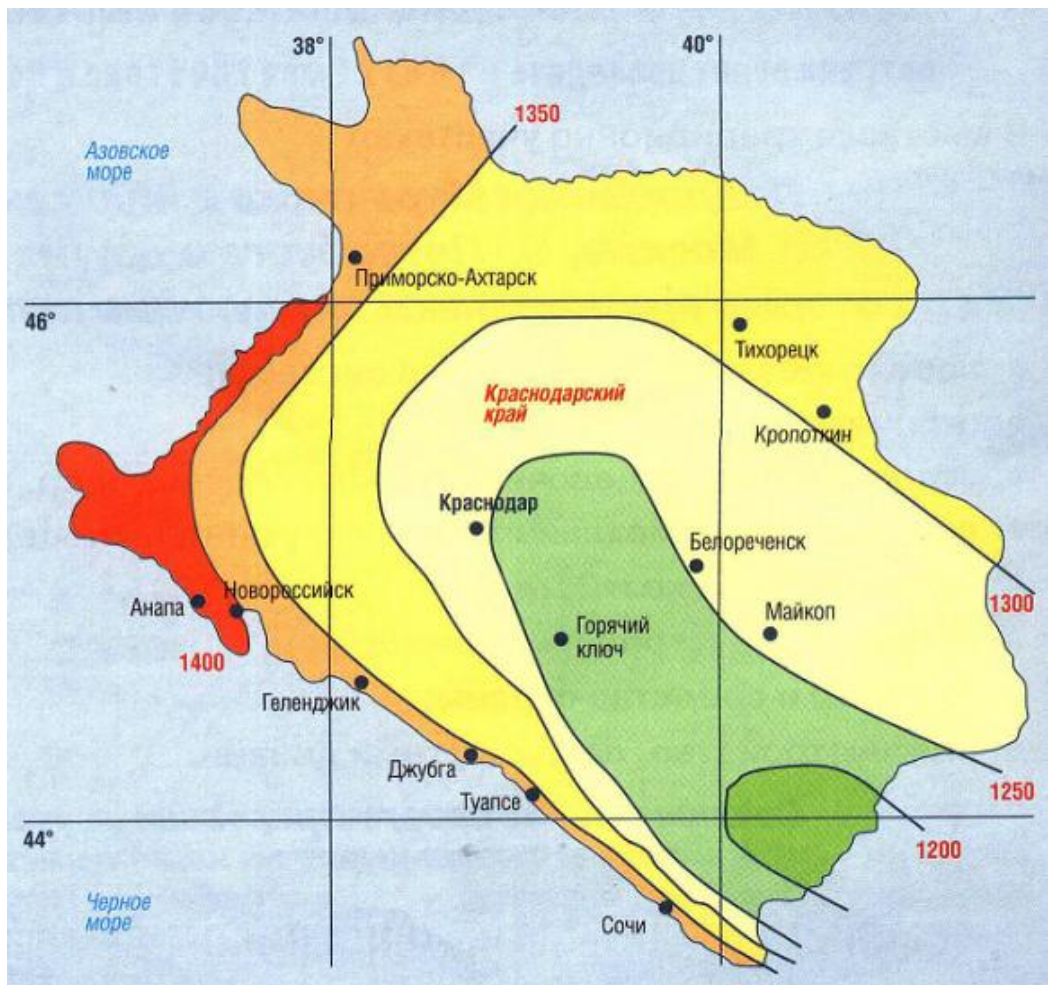


Рис. 2.27. Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность на территории Краснодарского края, (кВт·ч)/м<sup>2</sup>

Этого вполне достаточно, чтобы рассматривать его как один из наиболее перспективных районов для развития гелиоэнергетики.

## Глава 3 Оценка объемов вырабатываемой энергии от гелиоресурсов

### 3.1 Расчёт энергетических ресурсов

Краснодарский край - типичный южный регион России, где в значительных объемах используются нетрадиционные возобновляемые источники энергии. В крае эксплуатируется 36 солнечных водогрейных установок общей площадью 2700 м<sup>2</sup>, ежегодно из 55 геотермальных скважин устанавливается 12 млн м<sup>3</sup> с температурой 70-90 °с, 36 ветрогенераторов общей мощностью 130 кВт.

В этом регионе проектирование и монтаж солнечных установок осуществляет ЗАО "Южно-Российская энергетическая компания", которое установило 25 солнечных установок для централизованного горячего водоснабжения. Целесообразность строительства солнечных установок определяется в основном уровнем солнечной радиации. В работе представлена классификация и анализ известных методов представления климатологической информации в гелиотехнических расчетах:

По средним суткам, представляющим месяц, т. е. метеоданные усредняются за каждый час месяца, и так составляются средние сутки. В течении месяца все сутки одинаковы, а в течении суток величины параметров изменяются от часа к часу.

По среднемесячным значениям, т.е. вычисляется одна среднемесячная величина параметра, и она используется для суток месяца.

Среднесуточным значениям, т.е. для каждой суток месяца вычисляется значение, которое используется для данных суток. Этот метод достаточно трудоемок и при использовании на ЭВМ требует практически столько же машинного времени, что и «типичный год».

По «типичному году», т. е. расчет выполняется по реальным данным каждого часа дней месяца, имеющего статистические характеристики, совпадающие со средним и многолетним.



На основе анализа отечественных и зарубежных работ по методам расчета интенсивности солнечной радиации можно сделать вывод, что представленные методы в большинстве случаев носят частный характер, т. е. применимы к конкретным условиям в данной географической точке и требуют большого объема подготовленной климатологической информации. Это затрудняет разработку и оптимизацию систем солнечного теплоснабжения.

В работе показано, что для достижения заданной точности определения приведенных затрат в системах солнечного теплоснабжения допустимо использовать усредненную за определенный период интенсивность солнечной радиации. Эффективность гелиоустановок не зависит от распределения солнечной радиации в течение дня, а зависит от ее суммы.

В практике проектирования гелиоустановок, как правило, применяется второй метод, т. е. среднемесячные значения интенсивности солнечной радиации.

Для расчетов годовых характеристик гелиосистем, требующих точности меньше 10% следует использовать метеоданные «типичного года».

Для проектирования гелиоустановок необходимы значения суммарной, прямой и рассеянной радиации. В самом общем случае их принимают согласно Справочника по климату «Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечной сияние» [26]. Однако там они представлены не для населенных пунктов. Так, в указанном Справочнике 1966 г. издания для территории Краснодарского края общей площадью 83,3 тыс. км<sup>2</sup> данные по солнечной радиации были приведены только для г. Сочи, условия которого не характерны для других населенных пунктов края и которые применимы только в радиусе 50-100 км для условий ровного рельефа в первом полуклометровом слое атмосферы.

В этой ситуации для получения достоверных значений для условий Краснодара были проведены исследования имеющихся значений суммарной

солнечной радиации за 10-летний период наблюдений с 1977 по 1986 год. В этом случае используется известный метод расчета интегральной повторяемости отдельных градаций солнечной радиации по ее среднему значению с построением гистограмм, являющихся эмпирическим аналогом дифференциальной функции распределения вероятностей.

Сравнение значений интенсивности солнечной радиации, полученных данным методом для Краснодара, с аналогичными данными соседних населенных пунктов Ростовской области и Ставропольского края, приведенными в справочнике, показало, что использование авторских данных позволило избежать ошибок до 18% при использовании значений солнечной радиации соседних регионов.

Обработка данных продолжалась до 1990 года. Анализ результатов расчетов и интегральной кривой распределения повторяемости суммарной солнечной радиации показал, что для условий Краснодара за 14-летний период наблюдений с большей степенью достоверности следует использовать средние арифметические значения суммарной солнечной радиации для расчета солнечных установок. Обеспеченность среднего арифметического значения солнечной радиации составляет 56%, а с учетом интегральной повторяемости-51%. Анализ полученных данных показывает, что с увеличением длительности периода измерения расчетные значения как среднего арифметического, так и среднего с учетом вероятностных функций имеют тенденцию к снижению.

Данный метод обработки данных об интенсивности солнечной радиации был применен также для города Геленджик Краснодарского края. При незначительной разнице в интенсивности годового солнечного излучения городов Краснодара и Геленджика (90 км) данные по отдельным месяцам в Краснодаре превышают соответствующие значения Геленджика в первом полугодии. Во второй половине года происходит обратное. Анализ интегральных кривых повторяемости показал, что средние арифметические

значения суммарной солнечной радиации следует использовать для расчетов солнечных установок с более высокой степенью достоверности.

При оценке солнечных энергетических ресурсов Краснодарского края и разработке рекомендаций по их техническому использованию для выработки тепловой и электрической энергии использовались данные о значениях интенсивности солнечной радиации и методы Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО). По данным измерений в 40 пунктах выделено 5 зон с различными значениями суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность. Наибольшими ее значениями характеризуются территории, прилегающие к Черному и Азовскому морям, — 1400 кВт·м<sup>2</sup>, наименьшими — горные районы — 1205 кВт·м<sup>2</sup>.

### 3.2 Оценка производительности гелиоустановок

Краснодарский край - один из трех регионов России, где за последние 30 лет были разработаны и установлены солнечные установки. В этом регионе было построено 102 солнечные установки общей площадью 5000 м<sup>2</sup>. Более половины солнечных установок обеспечивают горячей водой (ГВС) пансионаты и базы отдыха.



### Рисунок 3.3. Гелиоустановка объектов ЦРБ Усть-Лабинска

На первом советском этапе развития гелиотехники в 1982–1992 гг. в регионе использовались солнечные коллекторы (СК) со стальными абсорберами Братского завода отопительного оборудования, грузинской фирмы «Спецгелиотепломонтаж» (Тбилиси), с алюминиевыми абсорберами заводов института «КиевЗНИИЭПИО», Всесоюзного института легких сплавов, Бакинского завода по обработке цветных сплавов.

Научно-методические основы создания солнечных установок были разработаны Краснодарской лабораторией энергосбережения и нетрадиционных источников энергии Академии коммунального хозяйства (г. Москва). На основе изучения значений интенсивности солнечной радиации региона, теплопроизводительности солнечных установок, стоимости их строительства и фактической стоимости замены органического топлива на них сделан вывод о целесообразности использования солнечных установок преимущественно для ГВС.

На 01.11.99 г. в Краснодарском крае фактически смонтировано и эксплуатируется 36 гелиоустановок теплопроизводительностью от 1 до 20 м<sup>3</sup> горячей воды в день [28, с.36].

Эксплуатируемые гелиоустановки имеют солнечные коллекторы различных конструкций:

- 11 гелиоустановок оборудованы 2900 коллекторами Тбилисского и Братского заводов;
- 25 гелиоустановок оборудованы коллекторами Ковровского завода.

Около 95% гелиоустановок выполнено по одноконтурной схеме. Расчетная дневная производительность по горячей воде составляет от 1 до 12 м<sup>3</sup>. При производительности до 3 м<sup>3</sup>/сутки, гелиоустановки работают с термосифонной циркуляцией, при большей производительности — с

насосной. Солнечные коллекторы, как правило, размещаются на кровлях зданий [1].

На рис. 3.1 представлена одна из первых гелиоустановок издательства «Советская Кубань» в г. Краснодаре. На кровле здания в 1989 г. установлено 432 коллектора Тбилисского завода общей площадью 260 м<sup>2</sup>. Одноконтурная гелиоустановка с насосной циркуляцией оснащена аккумуляторными батареями общей емкостью 20 м<sup>3</sup> и работает на горячее водоснабжение в межтопительный период.



Рисунок 3.1 Гелиоустановка издательства «Советская Кубань» в Краснодаре

На рис. 3.2 представлена гелиоустановка пансионата «Лесная поляна» в г. Новороссийске. На кровле здания га 1999 году установлено 68 коллекторов Ковровского завода общей площадью 51 м<sup>2</sup>. Гелиоустановка одноконтурная, с естественной циркуляцией, оборудована баком-аккумулятором емкостью 7 м<sup>3</sup> и работает на горячее водоснабжение в летнее время.



Рисунок 3.2 Гелиоустановка пансионата «Лесная поляна» в г. Новороссийске

В результате обобщения и анализа многолетних исследований получены достоверные значения интенсивности прямого, рассеянного и суммарного солнечного излучения для всех городов и районов Краснодарского края для горизонтальных поверхностей и для поверхностей, наклоненных под углом, равным географической широте данного района.

В таблице 3.1 ниже приведены результаты расчетов производительности гелиоустановки горячего водоснабжения с солнечными коллекторами Ковровского завода.

Таблица 3.1 Результаты расчетов производительности гелиоустановки горячего водоснабжения с солнечными коллекторами Ковровского завода для условий г. Краснодара

Месяц	Интенсивность прямой солнечной радиации	Интенсивность рассеянной солнечной радиации на	Расчетная теплопроизводительность солнечного коллектора, Втч/м <sup>2</sup>	Удельная дневная производительность при 55°C, литр
	на	на		

	горизонтальную поверхность, Втч/м <sup>2</sup>	горизонтальную поверхность, Втч/м <sup>2</sup>		
Январь	447.9	716.3	1135.7	24.4
Февраль	704.2	1160.1	1435.6	30.86
Март	1370.5	1567.5	2028.4	43.6
Апрель	1990.0	2045.6	2445.1	52.6
Май	2857.4	2508.0	2998.5	64.5
Июнь	3397.0	2656.4	3236.3	69.6
Июль	3520.3	2499.1	3287.1	70.7
Август	3063.4	2087.0	3076.0	66.1
Сентябрь	2360.3	1610.5	2708.8	58.2
Октябрь	1334.6	1173.4	1994.6	42.9
Ноябрь	536.8	703.4	1156.0	24.8
Декабрь	215.0	564.3	711.0	15.3

Анализ распределения интенсивности суммарной солнечной радиации по месяцам показал существенное превышение летних значений над зимними. Так, для Краснодара эти значения составляют: в июле 670 МДж/м<sup>2</sup>, в декабре 80 МДж/м<sup>2</sup>. Очевидно, что применение гелиоустановок для отопления неэффективно, а практическое значение имеет использование солнечной энергии для горячего водоснабжения в период с апреля по октябрь. Кроме, того анализ возможностей применения гелиоустановок свиде-

тельствует, что при использовании солнечной энергии 25% населения Краснодарского края, не имеющего централизованного теплоснабжения (916 тыс. человек), и 50% отдыхающих (5000 тыс. человек) общая потребность края в гелиоустановках составляет 1450 тыс. м<sup>2</sup>.

Проектирование и монтаж установок выполнялись в основном объединением «Кубаньтеплокоммунэнерго» (Краснодар). На этом этапе строились в основном одноконтурные ГУ площадью от 50 до 300 м<sup>2</sup>, а также двухконтурные солнечно-топливные котельные.

Удельная сметная стоимость ГУ — 117 USD/м<sup>2</sup> при курсе 1 USD = 30 руб. Срок окупаемости ГУ составил 7,4 года. Экономические показатели солнечно-топливных котельных существенно выше, т.к. при их сооружении применяется существующее оборудование котельной (баки, насосы). Так, для гелиоустановки котельной в г. Тимашевске площадью 326 м<sup>2</sup> с СК Братского завода удельная сметная стоимость составила всего 76,1 USD/м<sup>2</sup> при курсе 1 USD = 30 руб.

Срок расчетной окупаемости — 2,8 года при фактическом сроке эксплуатации — 20 лет.

Итак, на советском этапе для регионального развития гелиотехники были характерны: большой выбор конструкций, наличие нормативной документации (Справочники по климату, ВСН 52–86 «Установки солнечного горячего водоснабжения»), типовые проекты гелиоустановок московских и киевских проектных организаций, наличие специализированных монтажных организаций (Спецгелиотепломонтаж, Тбилиси), Краевой программы развития возобновляемых источников энергии [12, с. 58]

В Краснодарском крае, при численности населения 5 млн человек, ежегодно число отдыхающих со всех концов России превышает 10 млн человек. Отсюда, рынок гелиоустановок только для этого региона оценивается в 5 млн. м<sup>2</sup>. Для освоения этих объемов требуется построить завод по



производству СК и создать соответствующую инфраструктуру (проектирование, монтаж, обслуживание).

Следует отметить, что в настоящее время в России нет серийного производства СК, а конструкция коллектора НПО Машиностроения (г. Реутов, Московская область) не является перспективной для серийного производства [27]. На основе анализа известных конструкций ведущих мировых производителей СК: плоских, вакуумных, пластмассовых, сделан вывод о перспективности производства плоских ка, определены основные конструктивные характеристики.

Ниже, в таблице 3.2 приведены данные по эксплуатируемым гелиоустановкам, разработанным ЗАО «Южно-русская энергетическая компания».

Таблица 3.2 - Данные по эксплуатируемым гелиоустановкам, разработанным ЗАО «Южно-русская энергетическая компания».

Адрес, владелец	Общая площадь установки, м <sup>2</sup>	Количество коллекторов, шт.	Изготовитель коллекторов	Дата ввода в эксплуатацию	емкость баков, м <sup>3</sup>	Размещение коллекторов	Примечание
Кубаньтепло-коммунэнерго ул.Селезнева	48	60	Ковров	1995	3	Навес	Душевые
Торговый дом «Травы Кубани» ул.Новороссийская	8	10	Ковров	1994	1,5	Навес	Душевые
Завод монтажных заготовок ул.Монтажников	8	10	Ковров	1994	1	Навес	Душевые

Агропромснаб- 1 ул.Уральская	24	30	Ковров	1995	3	Навес	Элек- троко- тел 2 кВт, душе- вые
Краевая больница ул.Российская	86,4	108	Ковров	1995	10	Навес	Пище- при го- товлен ие, мытьё посуды
АО «КРАВТ» ул.Уральская	51,2	64	Ковров	1995	6	Кровля	Душе- вые, столова я
ст.Благовещенс кая база отды- ха «Ладога»							алю- мин.
— гелио- установка N1	2,4	3	Ковров	1999	0,2	Кронш т.	плав- ник
— гелио- установка N2	19,2	24	Ковров	1999	2,0	Навес	
— гелио- установка N3	38,4	48	Ковров	1999	4,0	Кровля	столо- вая,
— гелио- установка N4	38,4	48	Ковров	1999	4,0	Навес	душе- вые
б/о Военторга	16	20	Ковров	1995	2	Кровля	
б/о Пермьтрансгаз	16	20	Ковров	1995	2	Навес	
б/о «Примула»	64	80	Ковров	1994	7	Навес	Душе- вые,

							СТОЛОВ ые
б/о СКЖД	80	100	Ковров	1995	10	Кровля	Душе- вые, СТОЛОВ ые
б/о «Нептун»	32	40	Ковров	1995	2х3	Кровля	Душе- вые, 2 эл.котл. ЭПЗ-25 сто- ловая
БОФ ул.Волочаевска я	64	80	Ковров	1994	8	К ровля	
Нефтеперера- лочная база «Шесхарис»	72	90	Ковров			Навес	Душе- вые
Пансионат «Зеленая ро- ща»	26	32	Ковров			Кровля	Душе- вые
Пансионат «Лесная поляна»	60	68	Ковров	2 кв. 1999 г.		Кровля	Столо- вая
База отдыха Энергонадзора	8	10	Ковров	1995	1	Кровля	Душе- вые
Пансионат «Подмосковье »	48	60	Ковров	1995	4	Навес	Душе- вые
Пансионат «МАГРМ»	8	10	Ковров	1995	1	Навес	Столо- вая
Санаторий им.М.В.Фрунзе	72	92	Ковров	1996	2х5	Кровля	ЦТП
Тепловые сети, котельная д/с «КОЛОКОЛЬЧ	16	20	Ковров	1999	2,0	Кровля	Стал. плавни

ИК»							к
Нефтебаза «Заречье»	8	10	Ковров	1998	1	Кровля	Душе- вая

Краснодарская лаборатория энергосбережения и нетрадиционных источников энергии Академии коммунального хозяйства проанализировала состояние солнечных установок в регионе. Наименее надежным элементом является солнечный коллектор. При обследовании солнечных установок было зафиксировано состояние теплопоглощающей панели, корпуса и остекления солнечного коллектора после 3-5 лет эксплуатации.

Худшими показателями эффективности работы являются коллекторы Братского завода отопительного оборудования (аналогичные конструкции Новокузнецкого и Подольского заводов) со стальной прессованной панелью, прессованным стальным корпусом с теплоизоляцией из минеральной ваты. В настоящее время они практически выведены из эксплуатации. Коллекторы Ковровского механического завода показали себя положительно: при общем количестве обследованных коллекторов было обнаружено 975 единиц. Выявлено 3 повреждения теплопоглощающей панели. Следует отметить, что конструкция стеклопакета была неудачной, а качество самого стекла - плохим, что привело к появлению трещин в 7-10% коллекторов в первый год эксплуатации. Технология нанесения краски на обратную сторону корпуса коллектора не соблюдается, что вызывает его коррозию уже на второй год эксплуатации. [22, С. 123].

В России солнечные коллекторы серийно выпускаются Ковровским механическим заводом и предприятием-конкурентом в подмосковном Жуковском. Отдельные партии коллекторов выпускает НПО "Машиностроение" в Реутове Московской области.

Ковровский завод выпустил около 1500 солнечных коллекторов. Этот завод характеризуется оптимальным для российского рынка соотношением: цена-качество. Во всех модификациях коллектора теплопоглощающая па-

нель выполнена из латунной трубы, обеспечивающей коррозионную стойкость, и различных конструкций плавников (алюминиевые литые, стальные с обжимом и сварные). Покрытие теплопоглощающей панели — селективная эмаль. Стекло — оконное 4 мм, корпус стальной. Теплоизоляция — пенополиуретан, воздушные полости из пергамина. Тыльная сторона теплоизоляции — алюминиевый или стальной лист, пергамин на ДВП. Соединение коллекторов — четырьмя патрубками с резиноканевыми муфтами. Площадь коллектора 0,8-1,07 м<sup>2</sup>. Масса сухая 24-26 кг/ м<sup>2</sup>, с водой 27-30 кг/м<sup>2</sup>. Рабочее давление 6 кгс/см<sup>2</sup>. Стоимость 70 долл. США/ м<sup>2</sup>.

На базе этих коллекторов Ковровский завод выпускает солнечную водонагревательную систему водяного отопления для индивидуальных потребителей с двумя коллекторами. Теплоизолированный резервуар для хранения, несущие конструкции соединены трубами.

Солнечные коллекторы фирмы "конкурент" имеют технические характеристики на уровне лучших зарубежных образцов. Теплопоглощающая панель изготовлена из штампованной нержавеющей стали толщиной 0,3-0,5 мм. Селективное покрытие осуществляется путем распыления в вакуумной камере. Комбинированная теплоизоляция: базальтовое волокно в алюминиевой фольге, пенополиуретан, стекло упрочненное, с низким содержанием железа, толщиной 3 мм. Корпус и тыльная сторона коллектора выполнены из алюминиевых сплавов. Соединение коллекторов четырьмя резиноканевыми патрубками. Площадь коллектора 1 м<sup>2</sup>. Масса сухая 23,5 кг, с водой 24,75 кг. Рабочее давление 6 кгс/ см<sup>2</sup>. Стоимость — 220 долл. США Коллектор данной фирмы имеет малое сечение каналов теплопоглощающей панели и рассчитан для работы на антифризе.

Компания "Конкурент" также производит солнечные водонагреватели для индивидуальных потребителей "Радуга-2М". Установка состоит из двух коллекторов площадью 2 м<sup>2</sup>, теплоизолированного аккумуляторного бака емкостью 200 литров. В контуре солнечных коллекторов-антифриз, в баке-

пластинчатый теплообменник, регулятор подачи, электронагреватель мощностью 16 кВт. В комплект установки входят соединительные шланги и опорные конструкции. Стоимость этой гелиоустановки составляет 1000 долларов США.

Солнечные коллекторы НПО машиностроения (г. Реутов) имеют штампованную теплопоглощающую панель из нержавеющей стали толщиной 0,8 мм. Селективное покрытие выполнено напылением в вакуумной камере. Стекло упрочненное, с низким содержанием железа. Корпус с тыльной стороны — из нержавеющей стали. Площадь коллектора 0,9; 1,2 м<sup>2</sup>. Масса сухая 27,34 кг. Рабочее давление 4 кгс/см<sup>2</sup>. Стоимость 230 долл. США/м<sup>2</sup>.

На базе данных коллекторов НПО машиностроения предлагает две модели солнечных водонагревательных установок емкостью 80 литров (один коллектор), 120 литров (два коллектора). Установки одноконтурные. Стоимость 900 долл. США.

В Украине солнечные коллекторы производятся фирмами "Южстальконструкция" (Симферополь), "Соланж" (Киев) и Крымским электротехническим заводом (Севастополь).

Симферопольский завод выпускает солнечные коллекторы с теплопоглощающей панелью из алюминиевого ребристого профиля плоской площадью 1,5 м<sup>2</sup>. Оконное стекло. Корпус из алюминиевого профиля. Теплоизоляция — пенополиуретан. Стоимость 100 долл. США / м<sup>2</sup>.

Севастопольский завод отдельными партиями изготавливает коллекторы с теплопоглощающей панелью из стальных труб, приваренных к стальному листу. Стекло — оконное. Корпус стальной. Площадь коллектора 1,03 м<sup>2</sup>. Стоимость 100 долл. США/м<sup>2</sup>.

Киевская фирма предлагает две модели солнечных коллекторов. Модель КС-3 имеет листотрубную стальную теплопоглощающую панель. Площадь 1,5 м<sup>2</sup>. Масса сухая 41 кг, с водой 59 кг. Стоимость 50 долл. США/м<sup>2</sup>. Модель КСБ-400 имеет теплопоглощающую панель из латунных

трубок с алюминиевым оребрением. Площадь  $1,4 \text{ м}^2$ . Масса сухая 28 кг, с водой 36 кг. Стоимость 125 долл. США/ $\text{м}^2$ .

Из зарубежных конструкций оптимальное соотношение качество — стоимость имеют израильские коллекторы, которые можно разделить на три вида:

- наиболее качественные стоимостью свыше 150 долл. США/ $\text{м}^2$ ;
- средние по качеству стоимость до 150 долл. США/ $\text{м}^2$ ;
- стандартного качества стоимостью до 100 долл. США/ $\text{м}^2$ .

Наиболее качественные коллекторы имеют теплопоглощающую панель из медных труб и медного листа, а способ соединения панели и труб — сварку. Покрытие является селективным. Стекло устойчиво к граду, содержание студня составляет 0,03%, толщина-3,2 мм. Каркас изготовлен из оцинкованной стали, покрытой полиэстером или анодированным алюминием. Теплоизоляция-пенополиуретан, стекловата. Средние по качеству коллекторы имеют теплопоглощающую панель из медных труб и стального листа. Способ соединения — обжимом. Покрытие селективное. Стекло градостойкое с низким содержанием железа, толщиной 3,2 мм. Корпус из оцинкованной стали. Теплоизоляция — пенополиуретан.

Коллекторы стандартного качества имеют теплопоглощающую панель, выполненную из оцинкованных стальных труб и листа. Метод — соединения-это обжим. Покрытие-селективная эмаль. Оконное стекло толщиной 3 мм. Корпус выполнен из оцинкованной стали. Теплоизоляция — пенополиуретан. Основной причиной сдерживания массового строительства солнечных установок является высокая удельная стоимость 1500-3000 долл. США/ $\text{м}^3/\text{сут}$ , а, следовательно, и длительный срок окупаемости для современной российской экономики, для уровня солнечной радиации в Краснодарском крае (3-5 лет). В самом общем случае окупаемость солнечных установок можно определить по формуле:

$$T = S_C / (Q C_T), \quad (1)$$

где  $S_c$  — удельная стоимость гелиоустановки, руб/м<sup>2</sup>

$Q$  — годовое количество теплоты, выработанное гелиоустановкой, Гкал/м<sup>2</sup>

$C_T$  — стоимость теплоты от традиционного энергоисточника, Руб/Гкал

Существующая и будущая неопределенность в Государственной ценовой политике на энергоносители, с одной стороны, и стоимость энергетического оборудования-с другой, делает актуальной оценку энергетической окупаемости солнечных установок. При этом количество тепловой энергии, вырабатываемой солнечной установкой в течение равномерного срока службы, сравнивается с затратами энергии на производство материалов солнечных коллекторов, оборудования и конструкций солнечных установок [1]. За рубежом расчеты с использованием этого метода показали, что при одинаковых энергозатратах на изготовление оборудования для солнечных установок и тепловых электростанций удельная стоимость солнечных установок должна составлять 108-216 долларов США/м<sup>2</sup>, в то время как средняя стоимость солнечных установок в США составляет 538 долларов США / м<sup>2</sup>.

Ниже предложена формула для определения срока энергетической окупаемости гелиоустановки горячего водоснабжения без дублирующего нагрева:

$$T_{\text{э}} = \frac{[\sum (m_r \text{Э}_r) - \sum (m_y \text{Э}_y)] 1,2}{Q_r \cdot n} \quad (2)$$

где  $(m_r \text{Э}_r)$ ,  $(m_y \text{Э}_y)$  — суммы произведений масс и энергоемкости материалов соответственно солнечных коллекторов и вспомогательных конструкций, оборудования гелиоустановки;

$Q_r$  — количество тепловой энергии, выработанное гелиоустановкой за год;  $n$  — расчетный срок ее эксплуатации.



Коэффициент 1,2 учитывает затраты энергии при монтаже гелиоустановки.

По формуле (2) для гелиоустановки производительностью  $1 \text{ м}^3$  в день с расчетной температурой  $55^\circ\text{C}$  для условий солнечной радиации Краснодарского края при сезонной эксплуатации и расчетном сроке службы 10 лет были рассчитаны сроки энергетической окупаемости 3-х установок, различающихся конструкциями ребер теплопоглощающей панели и теплоизоляцией:

- теплопоглощающая панель из латунной трубки, стальных теплопоглощающих ребер, теплоизоляционной воздушной коробкой из пергамина, ограждением из ДВП и пергамина; срок энергетической окупаемости — 1,04 года;
- то же с алюминиевыми теплопоглощающими ребрами, ограждением из стального листа — 1,41 года;
- то же со стальными ребрами, теплоизоляцией из пенополиуретана, ограждением из стального листа — 1,16 года [28].

Из полученных результатов следует, что первая конструкция коллектора имеет самый короткий срок окупаемости энергии, а вторая — самый длительный, что объясняется высокой энергоемкостью алюминия. Результаты расчетов также свидетельствуют о том, что сравнение солнечных электростанций с традиционными источниками теплоснабжения является предвзятым только с точки зрения стоимости.

Основным направлением сокращения срока окупаемости гелиоустановок является удешевление солнечных коллекторов. ЗАО «Южнорусская энергетическая компания» совместно с Ковровским механическим заводом работает над модернизацией солнечных коллекторов.

Как известно, солнечный коллектор имеет две теплоизоляции: прозрачную над теплопоглощающей панелью и обычную — под ней. Для

последней был произведен анализ расчетных, экспериментальных и экономических показателей.

Тепловая изоляция солнечного коллектора должна обеспечивать заданные по экономическим соображениям нормативные теплотехнические, прочностные и экономические характеристики в течении установленного срока окупаемости, основные из которых рекомендованы ГОСТом .

В зависимости от теплоизоляционного материала его тепловое сопротивление определяется коэффициентом теплопроводности и толщиной сплошного изоляционного слоя. При использовании воздушных полостей толщиной 20-100 мм решающее значение имеет теплопередача излучением. При равной толщине изоляционного слоя 100 мм тепловое сопротивление пенополиуретана составляет 2,86 ( $\text{м}^{\circ}\text{С} / \text{Вт}$ ). таким образом, теплопоглощающие свойства пенополиуретана в 3,7 раза выше.

Термическое сопротивление наружного ограждения теплоизоляции не зависит от материала и, в основном, определяется теплоотдачей конвекцией, которая определяется скоростью наружного воздуха.

Согласно ГОСТ основной характеристикой солнечного коллектора является произведение общего коэффициента тепловых потерь коллектора и коэффициента эффективности поглощающей панели  $F_{UL}$ . Для коллектора с одним слоем прозрачной изоляции, черным теплопоглощающим покрытием при нулевой скорости воздуха  $F_{UL} \leq$

$5,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$  с погрешностью определения  $\pm 10\%$  или  $\pm \text{Вт}/(\text{м}^2\text{°С})$ .

Ковровский механический завод провел испытания солнечных коллекторов с различными конструкциями теплоизоляции. При этом штатная конструкция имела следующие характеристики:

- теплопоглощающая панель из латунных трубок с наплавленным алюминиевым оребрением, произведение оптического КПД коллектора и коэффициента эффективности поглощающей панели — 0,72;
- один слой стекла оконного толщиной 4 мм;

- теплоизоляция — листовым полистирольным пенопластом ПС-1-100 в полиэтиленной стенке толщиной 50 мм;
- производство общего коэффициента тепловых потерь коллектора и коэффициента эффективности поглощающей панели при нулевой скорости ветра 5,8 Вт/(м<sup>2</sup>·°С);
- корпус стальной с габаритами 944x912x110 мм.

Испытания производились в лаборатории при температурах окружающей среды от 14 до 22°С, температуре воды на в коллекторы 60°С, расходе воды 23,4 л/ч, угле наклона коллектора 45°С. Испытания производились по методике и схеме согласно ГОСТ. Испытываемые коллекторы различались только конструкцией теплоизоляции:

- штатная;
- без теплоизоляции;
- коробка из пергамина;
- коробка из пергамина с одной перегородкой;
- коробка из пергамина с двумя перегородками;
- вкладыши в полости коллектора;
- вкладыши в полости коробки из пергамина [28].

При этом получены результаты, которые представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3 Результаты исследования

Тип теплоизоляции	Производство общего коэффициента потерь и коэффициента эффективности, $FU_L$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	Среднее значение $FU_L$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	В процентах от штатного коллектора $FU_L$	В процентах от $FU_L$ по ГОСТ
Штатная	4,7-5,8	5,25	100	91
Без теплоизоляции	6,6-7,5	7,05	134	122
Коробка из пергамина	5,7-6,7	6,2	118	107

Коробка из пергамина с одной перегородкой	5,2-6,2	5,7	109	98
Коробка из пергамина с двумя перегородками	5,5-6,5	6,0	114	103
Вкладыши в полости коллектора	6,9-7,0	7,0	132	121
Вкладыши в полости коробки из пергамина	5,5-6,4	8,0	114	103

Из анализа результатов следует, что в пределах разрешенной погрешности определения  $FU_L$  ( $\pm 10\%$ ) находятся все теплоизоляционные конструкции кроме вкладышей в полости коллектора.

В общем случае удельная стоимость теплоизоляции коллектора должна быть ниже или равна стоимости тепловой энергии, теряемой через данную изоляцию за определенный срок эксплуатации:

$$C_u \leq \frac{\lambda \cdot (\bar{t}_j - t_b) \cdot n \cdot T \cdot C_T \cdot I_T}{\delta^2} \quad (3)$$

где  $C_u$  — стоимость теплоизоляции, руб/м<sup>2</sup>;

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности, Вт/(м<sup>2</sup>°С);

$t_j$  — средняя температура жидкости в коллекторе, °С;

$t_b$  — средняя температура воздуха в течении сезона эксплуатации коллектора, °С;

$n$  — продолжительность эксплуатации коллектора в течении сезона, час/год;

$T$  — число лет эксплуатации коллектора до полной окупаемости;

$C_m$  — стоимость тепловой энергии от традиционных источников, замещаемых гелиоустановкой, руб./Вт;

$I_m$  — коэффициент прогнозного изменения стоимости тепловой энергии в пределах заданного срока окупаемости.

Результаты расчетов по формуле (3) показали, что при условно одинаковой производительности Ковровского коллектора с равной толщиной 0,05 м теплоизоляции из пенополиуретана и с воздушной прослойкой при  $t_{ж} = 30^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{в} = 15^{\circ}\text{C}$ ,  $n = 2160$  ч/год,  $T = 10$  лет,  $C_m = 0,2 \cdot 10^3$  руб./Вт,  $I_m = 7,07$  (прогноз 30% инфляции в первый год и далее в среднем 10% в год) стоимость конструкции с воздушной прослойкой может быть сокращена в 4-5 раз.

В результате обобщения и анализа многолетних исследований получены достоверные значения интенсивности прямого, рассеянного и суммарного солнечного излучения для всех городов и районов Краснодарского края для горизонтальных поверхностей и для поверхностей, наклоненных под углом, равным географической широте данного района.

Таблица 3.1 Результаты расчетов производительности гелиоустановки горячего водоснабжения с солнечными коллекторами Ковровского завода для условий г. Краснодара.

Месяц	Интенсивность прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность, Втч/м <sup>2</sup>	Интенсивность рассеянной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, Втч/м <sup>2</sup>	Расчетная теплопроизводительность солнечного коллектора, Втч/м <sup>2</sup>	Удельная дневная производительность при 55°C, литр
Январь	447.9	716.3	1135.7	24.4
Февраль	704.2	1160.1	1435.6	30.86
Март	1370.5	1567.5	2028.4	43.6
Апрель	1990.0	2045.6	2445.1	52.6

Май	2857.4	2508.0	2998.5	64.5
Июнь	3397.0	2656.4	3236.3	69.6
Июль	3520.3	2499.1	3287.1	70.7
Август	3063.4	2087.0	3076.0	66.1
Сентябрь	2360.3	1610.5	2708.8	58.2
Октябрь	1334.6	1173.4	1994.6	42.9
Ноябрь	536.8	703.4	1156.0	24.8
Декабрь	215.0	564.3	711.0	15.3

Анализ распределения интенсивности суммарной солнечной радиации по месяцам показал значительное превышение летних значений над зимними. Так, для Краснодара эти значения составляют: в июле-670 МДЖ/м<sup>2</sup>, в декабре-80 МДЖ / м<sup>2</sup>. Очевидно, что использование солнечных установок для отопления неэффективно, а использование солнечной энергии для горячего водоснабжения в период с апреля по октябрь имеет практическое значение [28, С. 35]. Кроме того, анализ возможностей применения солнечных установок показывает, что при использовании солнечной энергии 25% населения Краснодарского края, имеющего централизованное теплоснабжение (916 тыс. чел.), и 50% туристов (5000 чел.) Общая потребность края в солнечных электростанциях составляет 1450 тыс. м<sup>2</sup>.

## Заключение

В данной работе была проведена оценка гелиоэнергетических ресурсов Краснодарского края. Были получены и проанализированы климатические характеристики солнечной радиации, а также выполнена оценка гелиоэнергетического потенциала выбранного региона.

Основные результаты работы позволяют сделать следующие выводы:

Россия имеет довольно большой опыт проектирования и эксплуатации солнечных установок. В то же время необходимо уточнить нормативы и рекомендации по проектированию электростанций применительно к современным условиям.

Для южных регионов России имеются достоверные данные об интенсивности солнечной радиации для проектирования солнечных установок, а также методы их уточнения.

На российском рынке солнечных коллекторов наилучшая корреляция между потребительскими свойствами и стоимостью наблюдается в продукции Ковровского механического завода. Есть также коллекционеры компании "Конкурент" (Жуковский, Московская область), НПО "Машиностроение" (г. Реутов, Московская область), нескольких украинских производителей.

В современных экономических условиях для повышения объективности предложены формулы для определения срока окупаемости солнечных установок по стоимостным показателям, а также срока окупаемости энергии.

Российскому рынку необходим солнечный коллектор, сочетающий приемлемые технические характеристики с низкой стоимостью. На основе анализа расчетных и экспериментальных данных Ковровским механическим заводом налажено производство солнечных коллекторов с

теплопоглощающей панелью из латунной трубы и стальных ребер, а в качестве теплоизоляции используются Пергаминовые коробки.

Предложена формула для определения максимальной удельной стоимости теплоизоляции коллекторов.

Десятилетний опыт успешной эксплуатации гелиоустановок горячего водоснабжения свидетельствует о перспективности и приоритетности данного направления использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии в Краснодарском крае.



## Список использованной литературы

1. Бутузов В.А., Бутузов В.В. Использование солнечной энергии для производства тепловой энергии. Справ.-метод. изд. — М.: Интехэнерго-Издат / Теплоэнергетик, 2015
2. Дробышев А. Д. Энергия солнца и ветра в Краснодарском крае, условия её утилизации. Монография. – СПб.: РГГМУ, 2014.
3. Занина А.А. Климат СССР. Кавказ. – Л.: Гидрометеиздат, 1961.
4. Ефремов Ю.В., Панов В.Д., Лурье П.М., Ильичёв Ю.Г., Панова С.В., Лутков Д.А. Орография, оледенение, климат Большого Кавказа: опыт комплексной характеристики и взаимосвязей: монография / Ю.В. Ефремов и др.: Краснодар: Кубанский государственный университет, 2007.
5. Горная энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1991. – Т. 5.
6. Доклад «О состоянии окружающей природной среды Краснодарского края в 1998 году». – Краснодар, 2011.
7. Кавказ. Природные условия и естественные ресурсы. – М.: Наука, 1966.
8. Кузнецова Л.П. Перенос влаги в атмосфере над территорией СССР. – М.: Наука, 1978.
9. Литвинская С.А., Таховская С.А. Состояние биоразнообразия лесных экосистем северо-западного Кавказа. География Краснодарского края: антропогенные воздействия на окружающую среду // Сборник статей. – Краснодар, 1996
10. Иванченко Т.Е., Панов В.Д. Распределение атмосферных осадков на Большом Кавказе // Сб. работ Ростовской ГМО, 1980. – Вып. 18.
11. Инженерная геология СССР. Т. VIII. Кавказ, Крым, Карпаты. – М.: изд-во МГУ, 1978.
12. Рабинштейн К.Г., Оганесян В.В., Грачев Н.В. Воспроизведение 59 приземной температуры воздуха и ее изменчивости // «Метеорология и гидрология». – 2004.
13. Справочник по климату СССР. Вып. 13. Ч.1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: Гидрометеиздат, 1966.
14. Справочник по климату СССР. Т. 2. Влажность воздуха, осадки и снежный покров. – Л.: Гидрометеиздат, 1976.

15. Справочник по климату СССР. Т. 1. Солнечное сияние, температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометеиздат, 1976.
16. Справочник по климату Чёрного моря. – М.: Гидрометеиздат, 1974.
17. Лурье П.М. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002.
18. Темникова Н.С. Климат Северного Кавказа и прилегающих степей. – Л.: Гидрометеиздат, 1959.
19. Пивоварова З.И., Радиационные характеристики климата СССР З.И. Пивоварова - Л.: Гидрометеиздат, 1977.
20. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. – Л.: Гидрометеиздат, 1980.
21. Рекомендации по определению климатических характеристик гелиоэнергетических ресурсов на территории СССР - Л.: Гидрометеиздат, 1987.
22. Журнал «Энергосовет», №5, 2011
23. Пихун А.Б. Краеведение. Раздел 2. География Краснодарского края: учеб. пособие для студентов Туапсинского гидрометеорологического техникума. – Туапсе: ТГМТ, 2006
24. Рабинштейн К.Г., Оганесян В.В., Грачев Н.В. Воспроизведение 59 приземной температуры воздуха и ее изменчивости // «Метеорология и гидрология». – 2004. – № 8.
25. Сергин С.Я., Яйли Е.А., Цай С.Н., Потехина И.А. Климат и природопользование Краснодарского Причерноморья. – СПб.: РГГМУ, 2001.
26. Справочник по климату СССР. Вып. 13. Ч.1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: Гидрометеиздат, 1966
27. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии – М.: Знание, 1980.
28. Нормы проектирования. Раздел «Установки солнечного горячего водоснабжения»: ВСН 52-86 / Госгражданстрой СССР. — М., 1987
29. Тимохин В.Г. Исследование гидрологических характеристик рек Черноморского побережья Краснодарского края для целей централизованного водоснабжения // Материалы научной конференции по вопросам географии Кубани. – Краснодар, 1971