



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (бакалаврская работа)

На тему «Использование автоматических комплексов при измерении
актинометрических величин»

Исполнитель **Реденко Маргарита Дмитриевна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Кузнецов Анатолий Дмитриевич
(фамилия, имя, отчество)

« 20 » мая 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Содержание

	стр.
Введение	4
1 Актинометрические величины и сеть актинометрических станций	6
1.1 Распределение солнечной энергии и измеряемые величины	6
1.2 Сеть актинометрических станций России и её состав	7
1.3 Метеорологическое обеспечение актинометрических приборов	11
1.4 Модернизация актинометрической сети Росгидромета	12
2 Аппаратурные средства актинометрических измерений	14
2.1 Актинометрическое оборудование	14
2.2 Автоматические актинометрические комплексы	16
2.3 Автоматизированный измерительный комплекс (АИК)	23
3 Обработка и анализ данных ААК	28
3.1 Июнь 2021 года	29
3.2 Июль 2021 года	34
3.3 Август 2021 года	39
3.4 Сравнительный анализ	44
Заключение	46
Список использованных источников	48

Список сокращений

ГГО – Главная Геофизическая Обсерватория им. Воейкова

АИК – актинометрический измерительный комплекс;

ААК – актинометрический автоматический комплекс;

УГМС – управление гидрометеорологической службы

УАР – установка актинометрическая регистрирующая.

Введение

Актинометрия— это наука о солнечном и земном излучении в условиях атмосферы. Она рассматривает энергию, излучаемую солнцем, поверхностью земли и ее преобразования в атмосфере.[1]

Известно, что солнечная радиация является основообразующим фактором для всех без исключения погодных процессов. В наше время актинометрические данные используются не только в метеорологии. Они необходимы во многих отраслях деятельности человека, например в сельском хозяйстве, или для внедрения альтернативных источников энергии (солнечных батарей). Кроме этого, солнечная радиация непосредственно влияет на самочувствие и здоровье человека. Известно, что ультрафиолетовое излучение может вызвать ожог тела, вплоть до онкологических заболеваний. Таким образом, проведение актинометрических измерений приобретает особое значение.[2]

Актинометрические станции расположены неравномерно по территории Российской Федерации, особенно это заметно в восточных и северных районах страны. [2,3,4] Виной этому устаревание и выход из строя актинометрического оборудования, используемого еще на актинометрической сети СССР, упадок метеорологической отрасли в конце 90-х годов прошлого века и малая плотность населения в отдельных районах Российской Федерации.

После 2010 года сеть актинометрических станций, как и сеть станций общего назначения была подвергнута модернизации в соответствии с современными требованиями. В результате модернизации, на сети началась эксплуатация современных метеорологических актинометрических комплексов.[2,4]

Автоматизированные актинометрические комплексы прошли тестовые испытания в Главной Геофизической Обсерватории им. Воейкова (ГГО им. Воейкова). В результате внедрения автоматизированных комплексов объем

получаемой информации об измеренных величинах увеличился в несколько десятков раз. Во-первых, резко возросла дискретность данных. Во-вторых, появилась возможность получать информацию о величинах, не измеряемых ранее в автоматическом режиме.

Цель работы заключается в исследовании изменчивости некоторых актинометрических параметров и, на основе данных исследования, рассмотрении возможностей автоматических комплексов при их измерении.

Для достижения цели исследования были определены следующие задачи:

- подготовить обзор актинометрических комплексов, внедренных на сеть Росгидромета в процессе модернизации;
- ознакомиться с работой, составом и выполняемыми функциями автоматического актинометрического комплекса (ААК);
- собрать и подготовить для исследования архивную информацию, полученную с ААК;
- исследовать изменчивость актинометрических величин за выбранный временной период;
- провести анализ полученной информации;
- определить возможности современных актинометрических комплексов.

Работа будет выполнена с использованием данных автоматизированного актинометрического комплекса, установленного в актинометрической лаборатории ГГО за 2021 год.

1 Актинометрические величины и сеть актинометрических станций

1.1 Распределение солнечной энергии и измеряемые величины

Основным источником энергии для Земли является Солнце. Продолевая путь от Солнца до Земли, часть излучения рассеивается в пространстве, часть поглощается атмосферой и часть достигает земной поверхности (рис. 1.1). Поэтому можно утверждать, что солнечная энергия, приходящая к подстилающей поверхности, может быть как прямая от Солнца (S), так и рассеянной от всех точек атмосферы (D).



Рисунок 1.1 – Схема радиационных потоков в атмосфере [1]

Однако достигнув земной поверхности, солнечное излучение вновь распадается на отраженную ($R_к$, $R_л$) и неотраженную (поглощенную) часть. Неотраженная часть поглощается деятельным слоем (слой земной

поверхности, где происходит поглощение радиации) и преобразуется в тепло.

Подстилающая поверхность в свою очередь сама является источником теплового излучения, направленного в атмосферу (E_3). Так же и атмосфера, принимающая излучение и от Земли, и Солнца, является источником тепла, направленного к земной поверхности и всему воздушному пространству (E_a).

В актинометрии различают три вида радиации, в зависимости от источника: солнечная, земная и атмосферная. Радиация есть поток излучения, приходящего от источника на перпендикулярную к лучу плоскость. Так солнечная радиация является коротковолновой, длина её волны 0.3–4.0 мкм. Земная и атмосферная радиация считается длинноволновой и занимает спектральную область 4–100 мкм. Если проводятся измерения на всей спектральной области от 0.3 до 100 мкм, то полученный результат называется интегральной радиацией.

Приходящая солнечная коротковолновая радиация подразделяется на прямую (от солнечного диска), рассеянную (от небесной сферы), отраженную (от подстилающей поверхности).[1]

Таким образом, наблюдения за основными актинометрическими величинами заключаются в измерениях прямой солнечной радиации, рассеянной радиации неба, суммарной солнечной радиации, отраженной земной поверхностью радиации, теплового баланса земли. [1,5]

1.2 Сеть актинометрических станций России и её состав

Наблюдения за основными актинометрическими величинами проводятся по всей сети гидрометеорологической службы, так как это один из главных факторов, определяющих климат любой местности. Наблюдая за изменениями солнечной энергии, можно так же описать радиационный

режим территории и условия жизнедеятельности человека и сельского хозяйства.[1]

На момент 2019 года актинометрической сеть Росгидромета составляет 169 пунктов наблюдений (рис. 1.2), которые работают по трём основным программам:

1. срочные наблюдения в стандартные актинометрические сроки;
2. интегрирование с измерениями суточных сумм отдельных видов радиации;
3. непрерывная регистрация составляющих радиационного баланса.

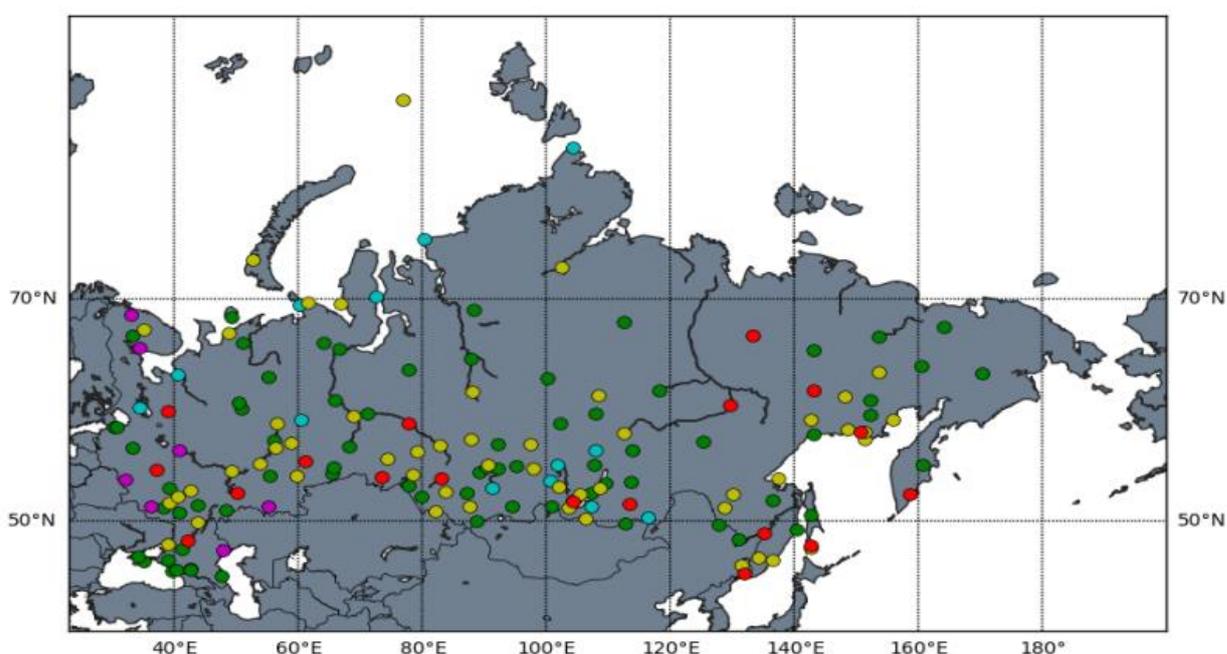


Рисунок 1.2 – Распределение актинометрических станций на территории Российской Федерации

Зеленым цветом на рисунке 1.2 выделены станции срочных наблюдений; желтым – по программе интегрирования; голубым – непрерывная регистрация, фиолетовым – станции с автоматизированными комплексами АИК белорусской фирмы «Пеленг» (устанавливаются с 2012

года), красным – автоматизированные комплексы ААК зарубежного производства (устанавливаются с 2010 года).

На рисунке 1.2 видно, что распределение актинометрических станций по территории нашей страны неравномерно. Достаточно небольшое количество метеорологических станций проводят актинометрические наблюдения, так как некоторые станции уже перешли в разряд временно или постоянно не работающих (выход из строя устаревшего оборудования и малонаселенность отдельных регионов Российской Федерации).[2-4].

Неравномерное распределение актинометрических станций характерно не только для некоторых регионов страны, но и заметно в составе УГМС. На гистограмме ниже (рис. 1.3) показано количество станций в каждом УГМС. Обращает внимание тот факт, что количество актинометрических станций, числящихся в составе УГМС, не всегда совпадает с количеством станций, проводящих наблюдения.

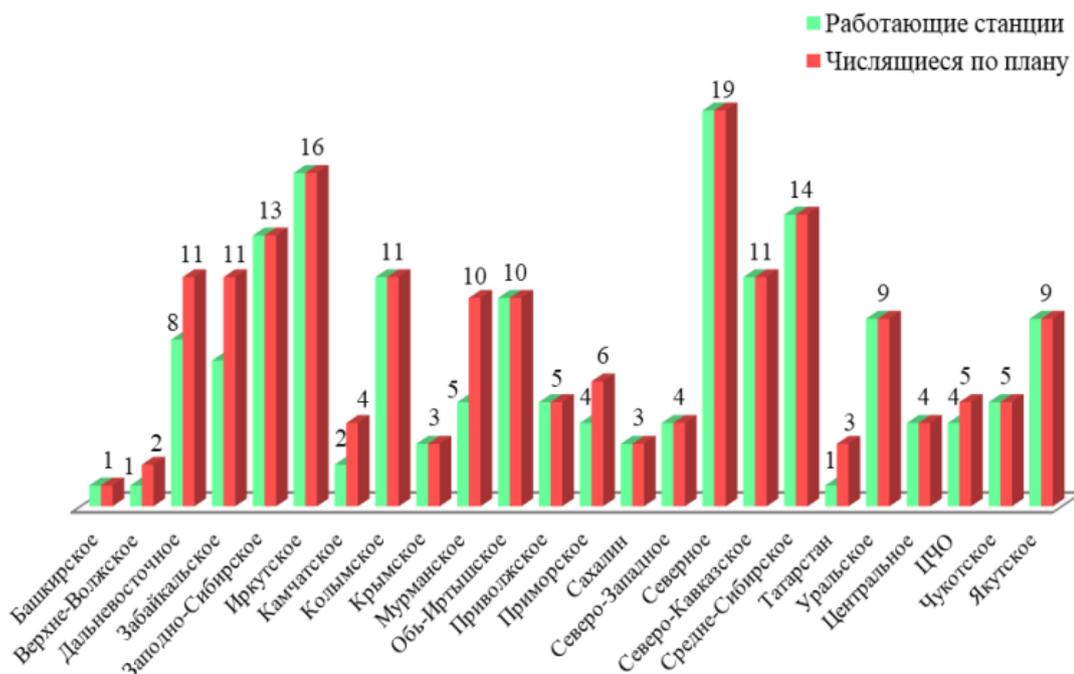


Рисунок 1.3– Количество актинометрических станций Росгидромета [3]

Например, самое большое количество актинометрических станций работает в составе Северного и Иркутского УГМС (19 и 16 соответственно), самое малое – в Башкирском (всего одна станция). В составе Мурманского, Верхне-Волжского и Камчатского управления гидрометслужбы работает только половина из числящихся станций, а в Татарстане – всего одна треть.

Программы наблюдения, по которым работают все метеорологические станции, в том числе актинометрические, зависят от целей и задач мониторинга в конкретном месте, а также от потребностей пользователей метеорологической информации.

На рисунке 1.4 более наглядно показано распределение количества актинометрических станций Росгидромета, работающих по разным программам.

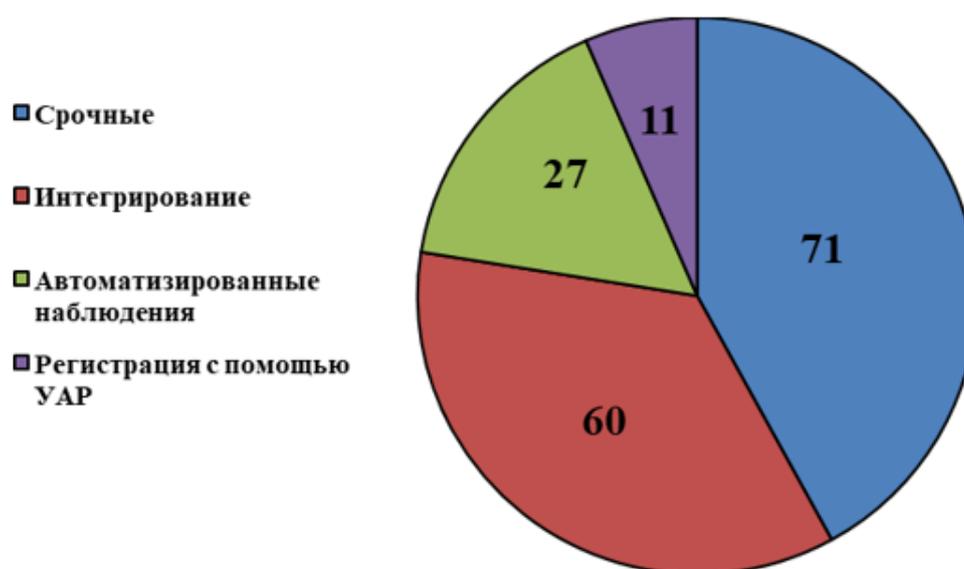


Рисунок 1.4 – Количество актинометрических станций Росгидромета, работающих по разным программам наблюдений

Так же на сети есть около 30 станций, работающих по смешанным программам (рис. 1.5). Например: и смешанные, и интегрированные или

автоматические и срочные. Такие станции существуют за счет запроса различных пользователей на совмещённую информацию.

Станции могут менять программу наблюдений за некоторыми видами солнечной радиации с одной на другую, например, в связи с неисправностью приборов. Если нет возможности смены программы, то станция наблюдения не проводит.[3] Так же смена программы наблюдений может зависеть от изменения задач мониторинга или появления новых средств измерений, и, как следствие, новых методик и программ наблюдения.

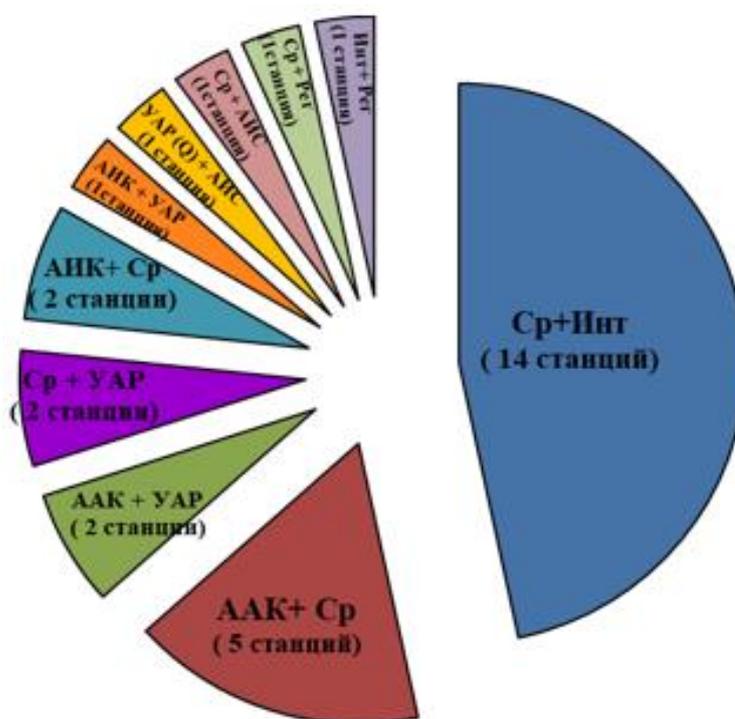


Рисунок 1.5 –Количество совмещённых станций на актинометрической сети Росгидромета

Как правило, все актинометрические станции сети передают информацию в ГГО об измерениях вовремя, за исключением труднодоступных станций, с которых информация передается в УГМС 1–2 раза в год.

1.3 Метеорологическое обеспечение актинометрических приборов

Все метеорологические приборы, с которых поступают данные, поверяются на эталонах, которые, в свою очередь, калибруют раз в 3 года в Кисловодске по эталонной группе Росгидромета. Поверяются и актинометрические приборы. Например, рабочие актинометры, как главный прибор, сверяют с контрольным прибором (эталон) не реже 1 раза в год. Это необходимо для проверки правильности работы регистрирующего прибора, выявления погрешности измерения и для его калибровки (если это необходимо). Методика поверки основана на сравнении показаний эталонного и поверяемого приборов по показаниям гальванометра.

Постоянная инспекция станций – неотъемлемая часть работы метеорологического обеспечения. На рисунке 1.6 показано распределение доли проверенных актинометрических станций от их общего числа.

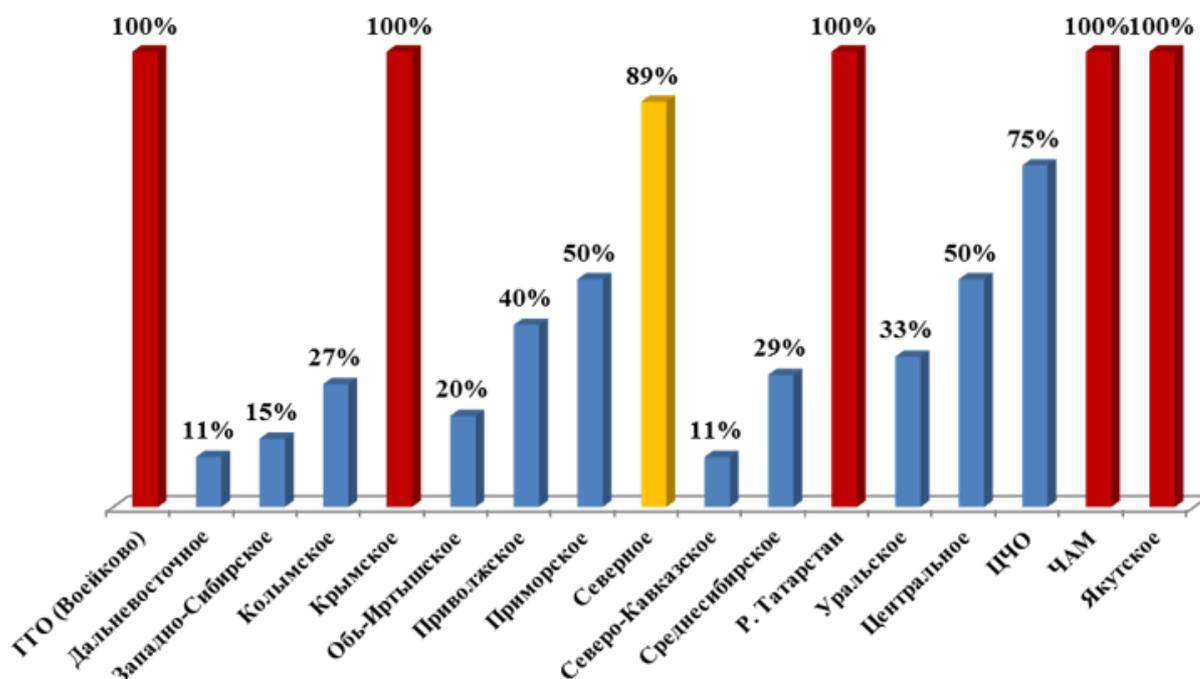


Рисунок 1.6 – Доля проверенных станций от их общего числа [3]

1.4 Модернизация актинометрической сети Росгидромета

Автоматизированный актинометрический комплекс (ААК) отличается от обычной станции в первую очередь значительным уменьшением ручного труда, а также более высокой информативностью и точностью данных. Помимо весомых достоинств, у ААК есть и недостаток: перебои следящей системы (трекера) в зимний период. АИК тоже имеет один минус: плохая работа контроллеров (БЦИ). В 2018 году на сети работали 26 автоматизированных комплексов различных типов. Усиленная автоматизация измерений проводится по программе интегрирования. Компания «Пеленг» предложила заменить электролитический интегратор, который требует ручной обработки данных, на электронный блок. Так измерения по этой программе станут более точными и информативными. Так, например, на станции Диксон Северного УГМС установлен 3-канальный электронный блок с 3 пиранометрами «Пеленг» для измерения суммарной, рассеянной и отраженной радиации.[3]

2 Аппаратурные средства актинометрических измерений

2.1 Актинометрическое оборудование

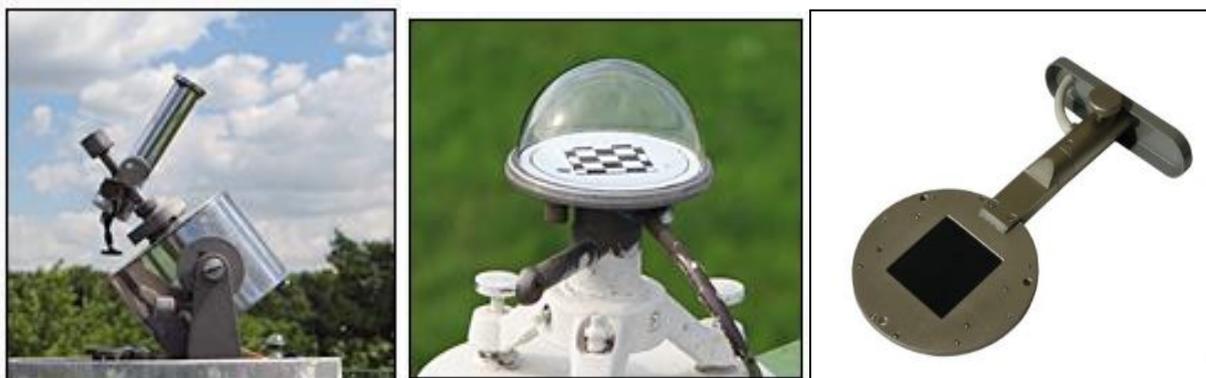
Актинометрические наблюдения заключаются в измерении коротковолновой радиации (прямая солнечная, рассеянная, отраженная и суммарная) в спектральной области 0,3–4,5 мкм; длинноволновой радиации (излучение земной поверхности и атмосферы, отраженная длинноволновая радиация и длинноволновый радиационный баланс) в спектральной области 4,5-100 мкм; интегральная радиация (радиационный баланс) спектральная область 0,3-100 мкм.

Для регистрации и измерения перечисленных видов излучения на сети и по нынешний день используется установка актинометрическая регистрирующая (УАР), схема которой представлена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Структурная схема установки УАР.[5]

Нижеприведенные приборы, являющиеся основным актинометрическим оборудованием. Далее мы будем рассматривать их подробнее.



а)

б)

в)

Рисунок 2.2 – Актинометрические приборы:

а) актинометр М-3; б) пиранометр М-80; в) балансомерМ-10м.[5]

Достаточно небольшое количество метеорологических станций проводят актинометрические наблюдения. Это связано с тем, что нынешняя актинометрическая сеть редка и неравномерна, из-за чего нельзя с достаточной точностью фиксировать происходящие изменения радиационного режима в отдельных регионах, в особенности в азиатской части России. Тем не менее, сеть гидрометеорологических станций общего назначения была подвергнута модернизации, что повлекло за собой создание современных автоматических актинометрических комплексов с удаленным управлением и минимальным техническим обслуживанием (например ААК).

После внедрения зарубежных ААК, спустя 2 года, появились российско-белорусские автоматизированные измерительные комплексы (АИК). Нововведенное оборудование в 2014 году позволило сократить ручной труд и время работы метеоролога на актинометрической площадке, это особенно важно в сложных погодных условиях.

Для актинометрии практически значимой является радиация в диапазоне длин волн от 0,3 до 100 мкм. Рассмотрим состав и работу современных актинометрических комплексов на примере комплекса компании Kipp&Zonen.

2.2 Автоматические актинометрические комплексы

ААК установлен на 12 станциях Росгидромета и обеспечивает постоянные наблюдения по стандартной программе, наблюдения по расширенной программе производятся на 6 станциях (рис. 2.3).

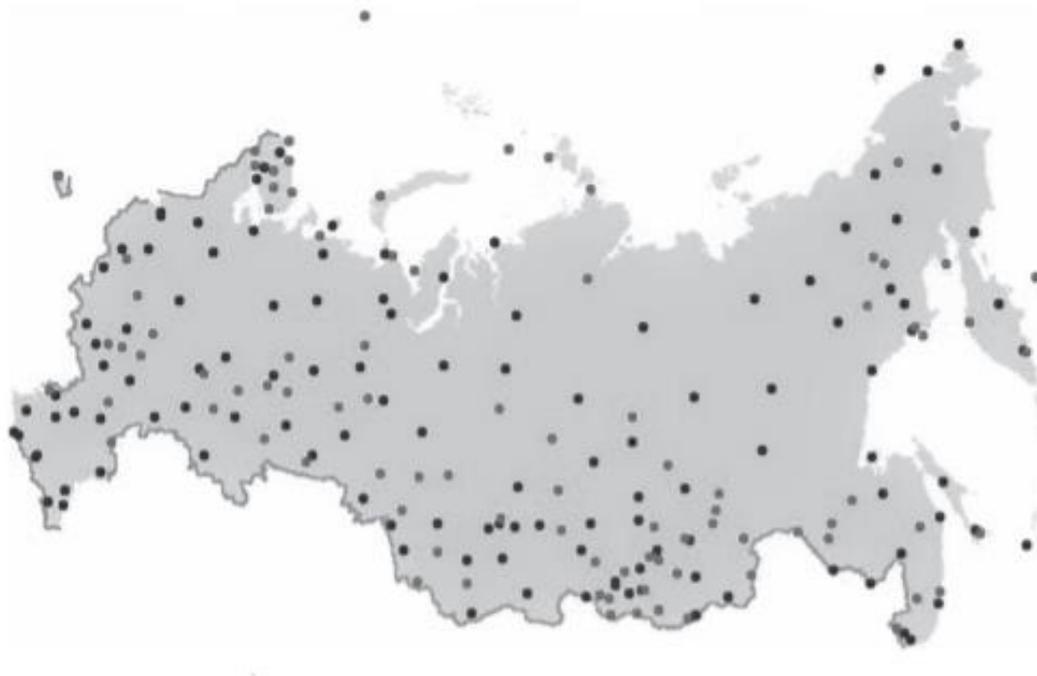


Рисунок 2.3 – Станции, проводящие полные (.) и сокращенные (.)наблюдения.[4]

В состав ААК, обеспечивающего наблюдения по программе непрерывной регистрации составляющих радиационного баланса, входят:

- контроллер (фирма Vaisala)
- пиргелиометр СНР-1 (измерение прямой солнечной радиации)
- три пиранометра СНР-6 (измерение рассеянной, отраженной и суммарной радиации)
- два пиргеометра СГ-4 (измерение проходящей и уходящей длинноволновой радиации)

- трекер (следающая система, обеспечивающая автоматическое наведение пиргелиометра на Солнце и затенение пиранометров и пиргеометров)
- стойки для размещения рабочих и контрольных приборов
- поверочная труба (контроль пиранометра)
- специализированное ПО для дополнительной обработки результатов измерений [4]

Изучим некоторые составляющие ААК фирмы Kipp&Zonen подробнее:

2.2.1 Трекер SOLYS-2

Следающая система (рис. 2.4) обеспечивает автоматическое наведение пиргелиометра на солнце и автоматическое непрерывное затенение (угол затенения равен 5°) пиранометра и пиргеометра от прямых солнечных лучей для точного измерения приходящей длинноволновой и рассеянной радиации. Приемник GPS, встроенный в систему, учитывает данные о местоположении и местном времени, направляя пиргелиометр и затеняющее устройство точно на Солнце.



Рисунок 2.4 – Трекер SOLYS-2.[7]

Так же на трекер устанавливают либо пиргелиометр, либо актинометр (измерение прямой солнечной радиации) и два пиранометра (измерение суммарной и рассеянной радиации).

2.2.2 Пиргелиометр СНР-1

Является абсолютным прибором (сравнение двух значений одной физической величины). Предназначен для измерения прямой солнечной радиации в диапазоне волн от 0,2 мкм до 4 мкм и заменяет хорошо известный нам термоэлектрический актинометр, который представлен на рисунке 2.5.

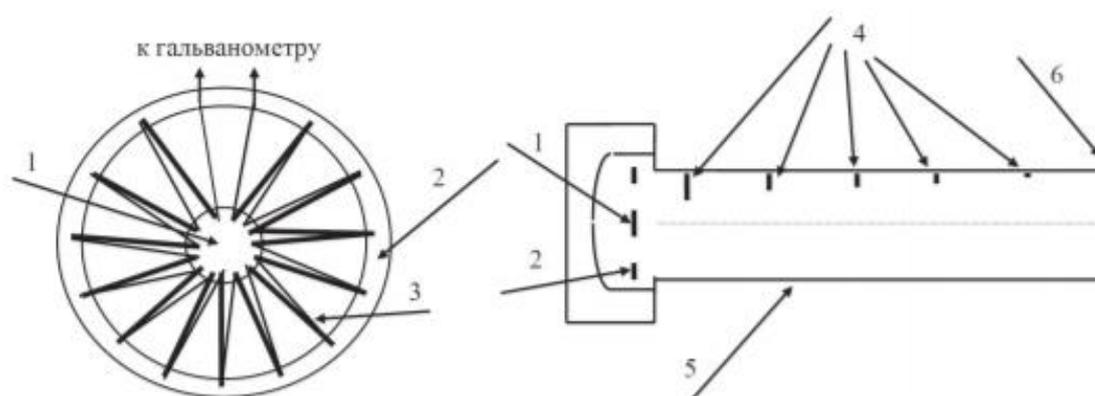


Рисунок 2.5 – Термоэлектрический актинометр М-3 (АТ-50):

1 – зачерненный диск, 2 – медное кольцо, 3 – термобатарея,
4 – последовательно сужающиеся диафрагмы, 5 – металлический цилиндр
(корпус), 6 – отверстие в диске для наведения актинометра на солнце.[5]

Однако работает он так же за счет термоэлектрического эффекта (Эффект Зеебека). Коллимационная труба пиргелиометра (рис. 2.6) и конструкция датчика благодаря специальной форме обеспечивают пиргелиометру угол зрения 5° . Так же есть кварцевое окно и козырек, защищающие датчик от внешних воздействий.



Рисунок 2.6 – Пиргелиометр SHP-1. [7]

2.2.3 Пиранометр СМР-6

Пиранометр СМР-6 в составе ААК заменил пиранометр М-80, у которого приемником радиации является ровная пластина, чётные части которой покрываются сажей, а белые — магнезией. Дополнительно у пиранометра М-80 белые поля пропитаны парафином для выравнивания поглощательных свойств. Пример представлен на рисунке 2.7. Таким образом, мерой рассеянной радиации является термоток термобатареи, измеряемый с помощью гальванометра. [5]

Для исключения ветровой погрешности приемник радиации накрывают прозрачным колпаком, пропускающим коротковолновую радиацию. От материала колпаков зависит спектральный диапазон измерения прибора.

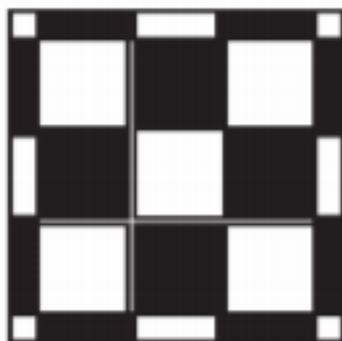


Рисунок 2.7– Приемник радиации пиранометра М-80м[5]

Пиранометр СМР-6 (рис. 2.8) Используется для измерения энергетической освещенности в диапазоне от 0,31 мкм и до 2,8 мкм.

Пиранометр включает в себя:

- термобатарею (измеряет разность температур),
- два колпака,
- солнцезащитный экран,
- сушильная кассета, расположенная в корпусе пиранометра (за счет силикагеля, которым она наполнена, предотвращает появление конденсата на внутренних стенках колпаков).



Рисунок 2.8 – Пиранометр СМР-6. [7]

И хотя в основе измерения лежит термоэлектрический эффект, приемная пластина пиранометра СМР-бсостоит только из черной плоскости. Термобатарея преобразует в электрический ток разницу температур между приемной пластиной (черный цвет) и корпусом прибора (белый цвет).

2.2.4 Пиргеометр CGR-4

Аналога данного прибора в истории отечественной метеорологии не было.

Назначение прибора – измерение энергетической освещенности солнечным излучением в диапазоне волн 4,5-42 мкм. Состоит из:

- детектора с кремниевым окном
- датчика температуры
- сушильной кассеты
- солнцезащитного экрана.



Рисунок 2.9 – Пиргеометр CGR-4[7]

2.2.5 УФ-радиометр UVS-AB-T

Если проводится расширенная программа наблюдений на ААК, то в состав комплекса включается прибор для измерения ультрафиолетовой радиации (УФ-радиометр UVS-AB-T).

Радиометр UVS-AB-T (рис. 2.10) измеряет атмосферное ультрафиолетовое излучение в двух спектральных диапазонах А и В. Два отдельных выхода: один для энергетической освещенности ультрафиолетового излучения диапазона «А» от 315 нм до 400 нм; второй для энергетической освещенности ультрафиолетового излучения диапазона «В» до 280 нм до 315 нм.[4]



Рисунок 2.10 – УФ-радиометр UVS-AB-T.[7]

Измерение суммарного ультрафиолетового излучения (прямое солнечное излучение и излучение, рассеянное частицами или молекулами воздуха) и есть основной принцип действия УФ-радиометра.

Термоэлектрическое управление при температуре 25° имеют, входящие в состав: внутренняя фильтрующая оптика, детектор и электронный предусилитель, они так же не зависят от наружной температуры, что позволяет избежать колебаний спектральной чувствительности, возникающие из-за изменчивости температуры окружающей среды.

2.2.6 Контроллер

Сердцем любой автоматической станции является контроллер. Он представляет собой единый блок, который обеспечивает электрическое подключение и сопряжение датчиков. Так же контролирует выполнение задач сбора и хранения данных наблюдений, управления и мониторинга оборудования на ААК (исключение- станции, оборудованные радиооборудованием). Показания датчиков поступают в мкВ, затем в контроллере преобразуются в Вт/м². Передача информации происходит по каналам связи в виде телеграмм по электронной почте.

В архиве хранятся такие данные за месяц как:

- -среднечасовые актинометрические данные по истинному солнечному времени:
- суммарная солнечная радиация
- прямая солнечная радиация
- рассеянная солнечная радиация
- отраженная солнечная радиация
- длинноволновая уходящая и приходящая радиация
- УФ-радиация в зонах А и В;
- -метеорологические данные.[4]

2.3 Автоматизированный измерительный комплекс (АИК)

Обеспечивает актинометрические наблюдения на гидрометеорологической сети, получение данных о радиационном состоянии происходит в автоматическом режиме.

АИК укомплектован отечественными техническими средствами и техническими средствами производства республики Беларусь. Состав комплекса обуславливает его преимущества перед зарубежным аналогом:

- меньшая стоимость;
- сохранность методик измерения и обработки данных;
- возможность использования имеющегося на сети вспомогательного и поверочного оборудования;
- обеспечение однородности рядов наблюдений.

Помимо специализированного контроллера, АИК включает в себя модернизированное теневое кольцо для балансомера, произведенное в России, и актинометрическое оборудование Белоруссии (рис. 2.11).

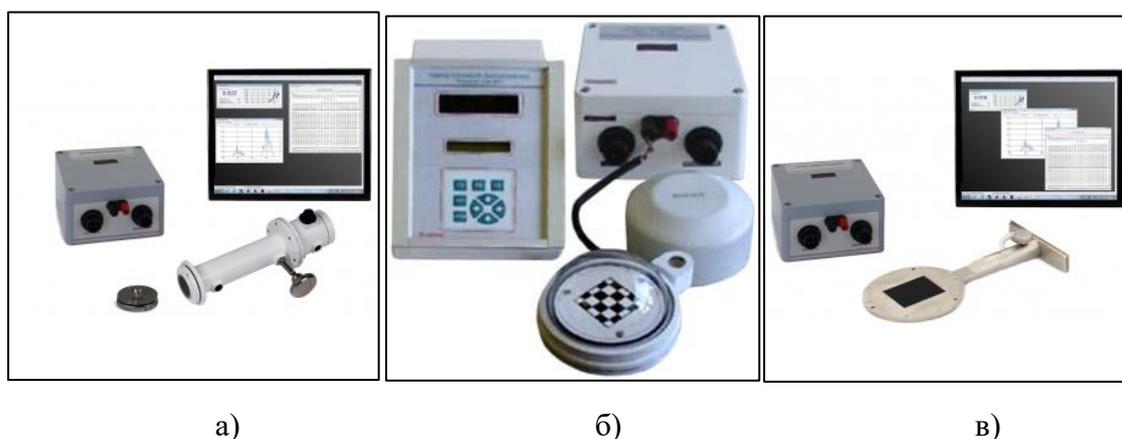


Рисунок 2.11 – Приборы фирмы «Пеленг» (Беларусь):

а) актинометр СФ-12; б) пиранометр СФ-06; в) балансомер СФ-08[6]

В состав АИК входит (рис. 2.12):

- актинометрическая стойка и система наведения на Солнце ПСС-1 (на актинометрической стойке крепятся два

- пиранометра СФ-6 и ВК-05-прибор для определения продолжительности солнечного сияния);
- БЦИ (блок центральный измерительный);
- ПК со специальным ПО.

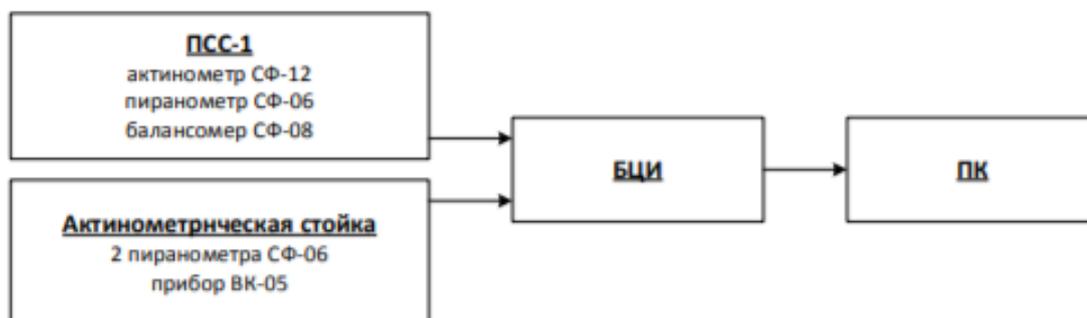


Рисунок 2.12 – Структурная блок-схема автоматизированного измерительного комплекса (АИК).[4]

Блок центральный измерительный. Обеспечивает представление на мониторе ПК текущих и среднечасовых показаний датчиков в графической и табличной формах. Так же перевод аналоговых сигналов с датчиков напряжения в значении радиации. При возникновении ситуации отключения питания имеется встроенный источник питания, благодаря которому не теряются данные.[4]

Прибор слежения за Солнцем (рис. 2.13) имеет встроенную систему управления, что является преимуществом перед зарубежными аналогами. Работоспособен при скорости ветра 20 м/с, то есть в условиях любой погоды. Имеет возможность автоматической подстройки положения осей при наличии солнца.

Угол поворота прибора ПСС-1 по азимуту не менее 320°, а по зениту не менее 90°.[4]

Так же если говорить о Российских и Белорусских приборах, таких как: актинометр СФ-12, пиранометра СФ-06 и балансомера СФ-08, стоит

отметить, что в основе их работы лежит термоэлектрический принцип преобразования. В качестве такого преобразователя используется манганин-константовая термобатарея.



Рисунок 2.12 – ПСС-1

Имеется ряд и других преимуществ, позволяющих увеличить точность измерений и уменьшить погрешности:

1. пиранометр СФ-06 имеет герметизированный корпус головки, благодаря чему не происходит запотевания стеклянного колпака изнутри.
2. термобатарея балансомера СФ-08 полностью полимеризована (обеспечивает герметизацию внутреннего пространства датчика).
3. актинометр СФ-12 имеет две модификации-для ручных измерений (с открытым входным отверстием) и с защитным окном из флюорита прозрачного к спектральной области прямой солнечной радиации, что позволяет не закрывать прибор при осадках (непрерывная регистрация прямой солнечной радиации).

Прибор для определения продолжительности солнечного сияния (рис. 2.14) может быть использован для работы как в автономном режиме, так и в составе автоматизированных систем на сети. Чувствительный элемент-окружность из двух рядов с 16 кремниевыми фотодиодами, расположенных под разным углом. Прибор может работать в диапазоне температур от -70° до $+70^{\circ}$ С. Информация передаётся с частотой 1 раз в секунду. Данные с этого прибора используются для характеристики климата местности, что представляет собой большую ценность для сельского хозяйства.



Рисунок 2.14 – Прибор для определения продолжительности солнечного сияния.[6]

3 Обработка и анализ данных ААК

Лаборатория актинометрических измерений ГГО им. Воейкова (рис. 3.1) предоставила архивные данные комплекса ААК за 2021 год.

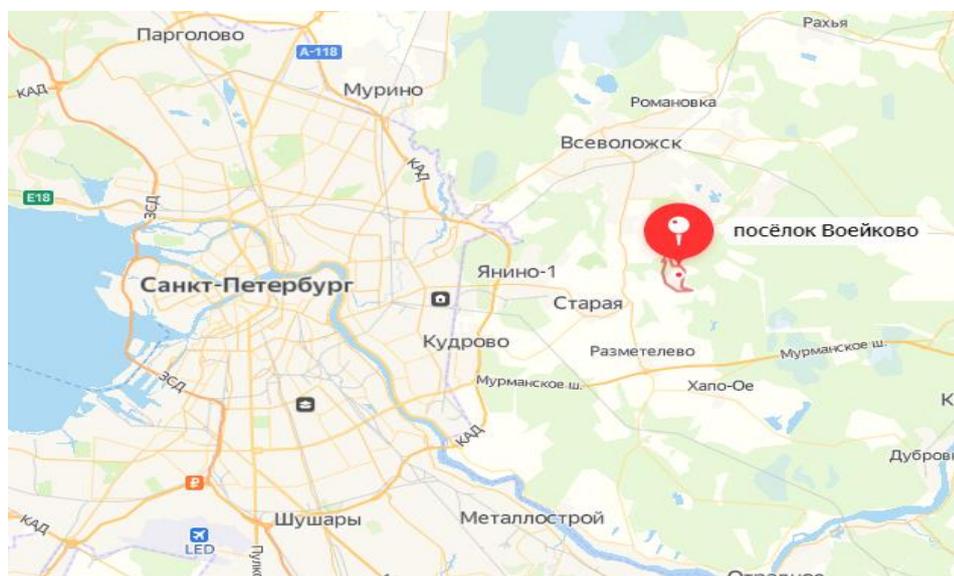


Рисунок 3.1 – ГГО им. Воейкова на карте

Измерения проводятся непрерывно, благодаря этому можно рассмотреть данные за каждый час, а также за любую минуту выбранного дня месяца. Мы имеем архив ААК за июнь 2021 года. В архиве данных (рис 3.2) представлены значения всех видов проходящей и отраженной радиации, а также стандартные метеорологические величины, такие как: температура, влажность, давление.

время	Q,гВт/м2	S,гВт/м2	D,гВт/м2	R,гВт/м2	UV_a,гВт	UV_b,гВт	Eu,гВт/м2	Ed,гВт/м2	T,грд	Rh,%	P,гПа	WS,м/с	GrTemp,г
0:24:00	0	0	0	0	0	0,003	337,535	305,743	7,19	95	1011,46		6,58
0:25:00	0,016	0	0,015	0	0	0,001	338,92	306,489	7,19	95	1011,46		6,59
0:26:00	0,016	0	0,015	0,039	0	0	338,537	305,667	7,19	95	1011,46		6,61
0:27:00	0,033	0	0,029	0,015	0	0,002	338,369	305,983	7,19	95	1011,47		6,63
0:28:00	0,033	0	0,029	0	0	0,002	338,743	305,693	7,21	95	1011,47		6,65
0:29:00	0,016	0	0,059	0,046	0	-0,001	338,197	304,959	7,22	95	1011,47		6,68
0:30:00	0,033	0	0,059	0,014	0	0,002	338,235	305,389	7,23	95	1011,47		6,71
0:31:00	0,033	0	0,029	0,007	0	0,002	339,328	305,832	7,23	95	1011,47		6,73

Рисунок 3.2 – Фрагмент архива данных ААК

Опираясь на данный архив, можно отследить продолжительность светового дня, а также резкие или значительные изменения погоды. Так же можно высчитать средние значения солнечной энергии в районе станции для уточнения климата местности или деятельности сельского хозяйства.

Рассмотрим измерения стандартных актинометрических и метеорологических величин на примере имеющегося архива автоматического актинометрического комплекса станции «Воейково».

В процессе выполнения работы был проведен анализ каждого дня трёх месяцев лета 2021 года по стандартным актинометрическим величинам и метеорологическим параметрам. Надо отметить, что лето 2021 года в Санкт-Петербурге и Ленинградской области выдалось очень жаркое. Значения прямой солнечной радиации были выше климатической нормы.

Ниже приведены графики и описание наиболее интересных случаев за каждый месяц.

3.1 Июнь 2021 года

Рассмотрим 1 июня 2021 года как нормальный суточный ход всех параметров: восход солнца был в промежутке с 4 до 5 часов утра. Сделать такой вывод можно по скачку значения прямой радиации (S): в 4 часа утра приток прямой солнечной радиации равен $0,02 \text{ гВт/м}^2$, а в 5 часов $202,941 \text{ гВт/м}^2$ (рис. 3.3).

Резкий скачок кривой на графике в районе 11 часов дня объясняется непродолжительным появлением кучевой облачности (20-30% небосвода), закрывающей диск солнца, однако значительных колебаний температуры не было.

Таким образом, световой день 1 июня 2021 года длился с 3 до 22 часов. Значения рассеянной радиации, приход которой начинается за час до восхода солнца и заканчивается через час после захода, определяют временные рамки светлого времени суток.

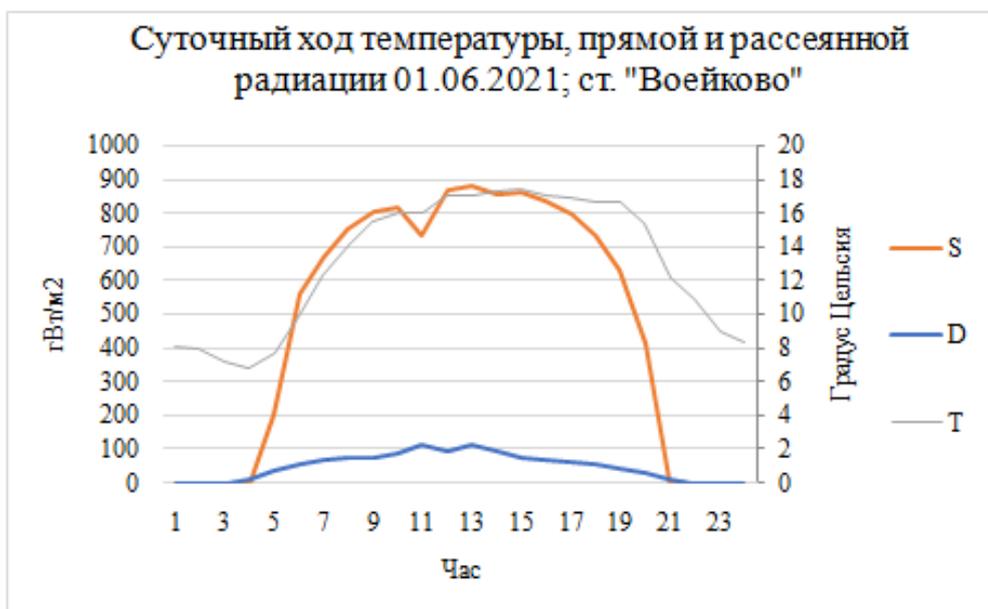


Рисунок 3.3 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 01.06.2021 ст. "Воейково"

Интересный случай наблюдается 6 июня (рис. 3.4).

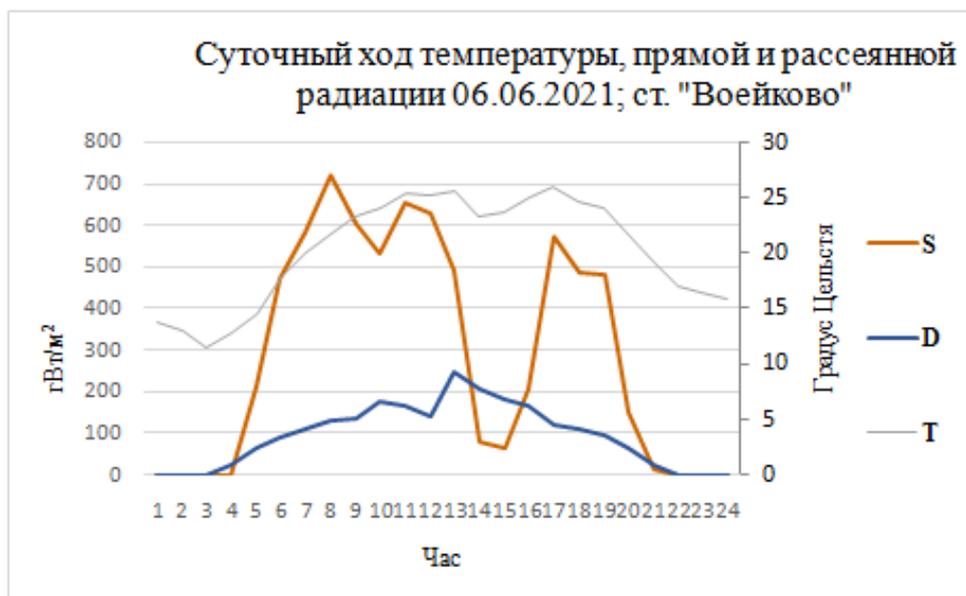


Рисунок 3.4 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 06.06.2021 ст. "Воейково"

Резкое падение поступления прямых солнечных лучей около трех часов дня и параллельно плавное понижение температуры. Диск солнца скрылся за плотными кучевыми облаками, которые почти не пропускают прямых лучей, что доказывается стабильным ходом рассеянной радиации. Небо было покрыто облаками на 40%.

24 июня 2021 года наблюдалась гроза. На графике (рис. 3.5) мы видим значительные скачки прямой радиации, а также соответствующие колебания рассеянной.

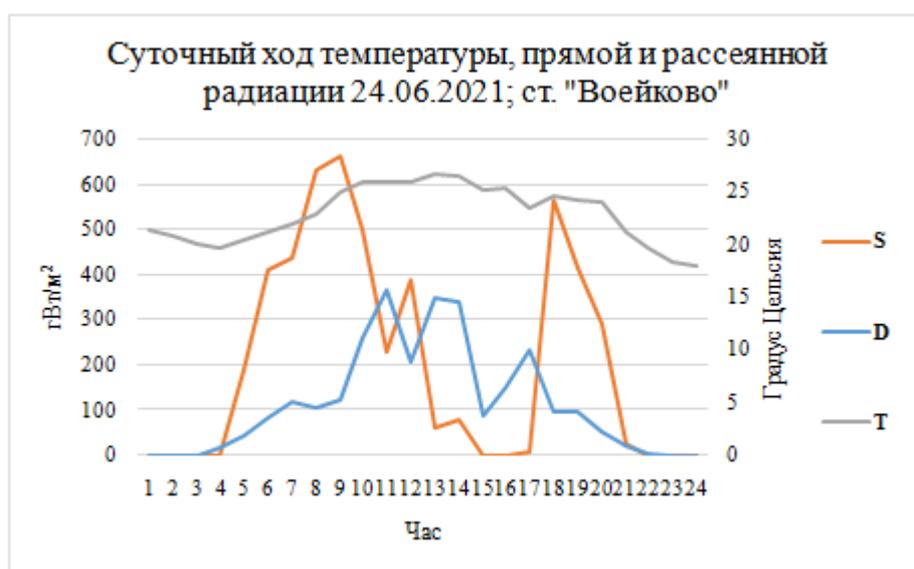


Рисунок 3.5 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 24.06.2021 ст. "Воейково"

В период с 9 до 18 часов, можно предположить, была следующая ситуация. Диск солнца закрывался плотными, непросвечивающими облаками – слоисто-дождевыми и кучевыми, в связи с чем, значения прямой радиации сильно упали. В это же время рассеянная радиация не последовала такой же тенденции по причине покрытия плотными облаками не всего небосвода (70% неба были закрыты облаками недолгое время, затем их количество уменьшалось). Подтверждением данной теории можно считать незначительные колебания температуры за день и легкий ветер 2 м/с.

29.06 на станции «Воейково» значения прямой радиации практически равны нулю (рис. 3.6), а рассеянная радиация равна обычным значениям. Такая ситуация возможна при покрытии большей части неба не слишком плотными облаками. Рассеянного света много, однако, прямых солнечных лучей нет. По метео данным этого дня, мы имеем информацию, что с 00 до 21 часа было покрыто 100% небесного свода высококучевыми и высокослоистыми облаками.

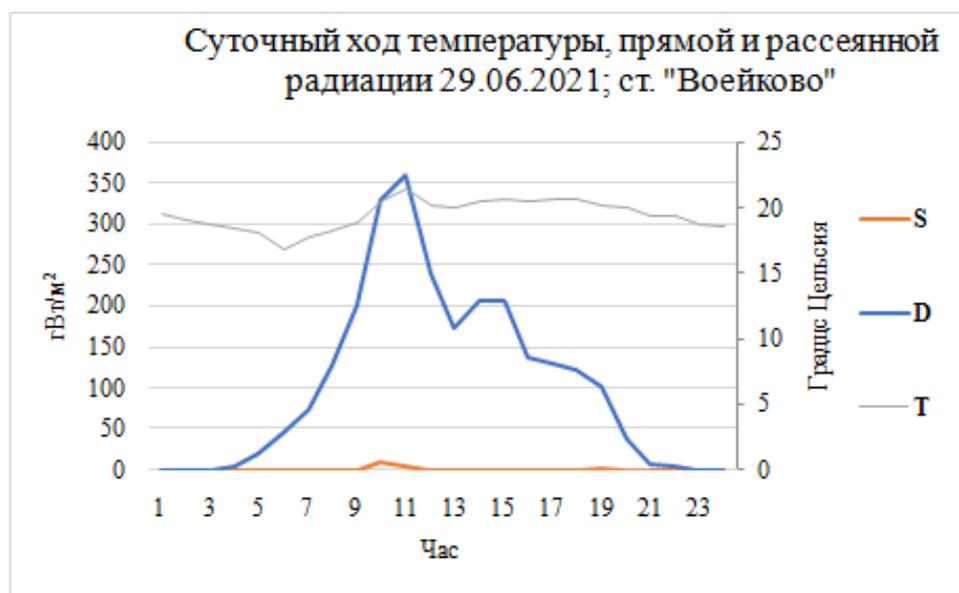


Рисунок 3.6 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 29.06.2021 ст. "Воейково"

Обобщая исследования за июнь 2021 года данные со станции «Воейково», я получила информацию о среднем количестве суммарной радиации за месяц и за каждый день отдельно (рис. 3.7). В среднем за данный месяц ежедневно на территорию близ станции и на санацию поступало 281,6 гВт/м² радиации (прямой и рассеянной). Это поступление было неравномерным. Самое большое среднее значение суммарной радиации зафиксировано 16 июня и равно 341 гВт/м².



Рисунок 3.7 – Ход суммарной радиации за июнь 2021 ст. "Воейково"

Ниже приведена гистограмма общей повторяемости значений суммарной радиации (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Повторяемость значений суммарной радиации за июнь 2021 г.

Температурный максимум приходится на 23 июня со средним значением за день 28, 2 °С. В этот день в срок 16 часов автоматическая станция зафиксировала температуру 34 °С.

3.2 Июль 2021 года

Световой день с 3 до 21 часа

8 июля 2021 года скачки притока прямой радиации (рис. 3.9) с 8 утра до 16 часов дня обуславливаются высокослоистой облачностью, покрывающей 40-80% неба. В промежуток с 16 до 18 часов небо на 100% покрыли кучевые и кучево-дождевые облака, наблюдался ливень. Так же в этот срок наблюдалась смена направления ветра с южного и юго-западного направлений на западное и северо-западное (2 м/с).

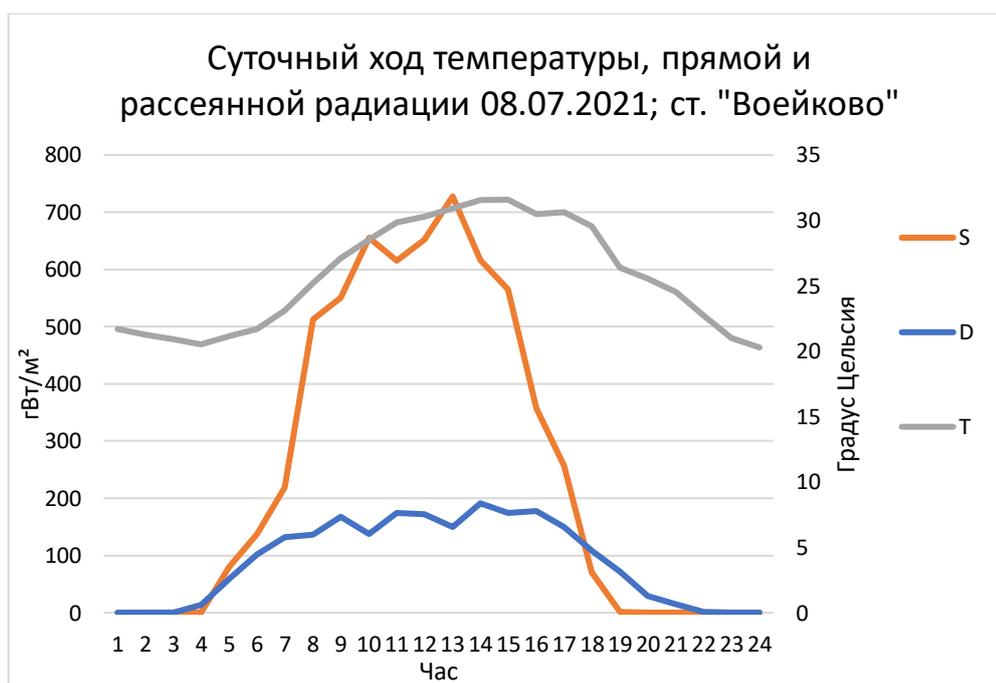


Рисунок 3.9 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 08.07.2021 ст. "Воейково"

Теперь рассмотрим следующий день 9 июля. По кривым температуры, прямой и рассеянной радиации (рис. 3.10) видно, что ночью кучевые облака

рассеялись, но небо было покрыто высококучевыми просвечивающими и перистыми облаками. С 6 до 9 часов образовались облака нижнего яруса и покрыли 100% небосвода. Затем они постепенно рассеивались, как и облака среднего и верхнего ярусов. Температура в первой половине дня повышалась медленнее обычного из-за отсутствия прямых солнечных лучей.

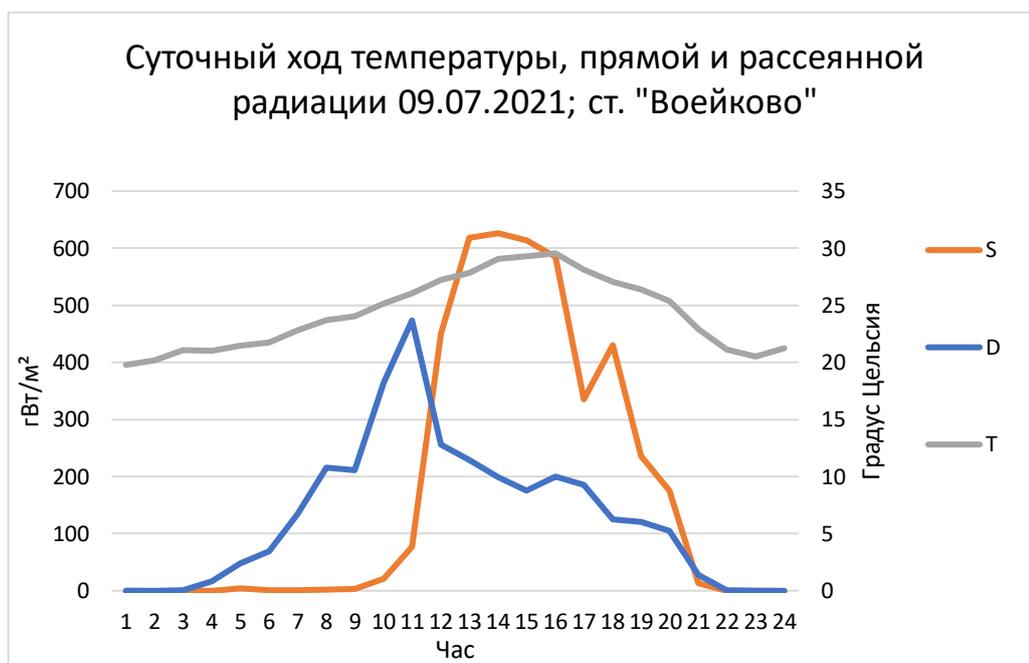


Рисунок 3.10 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 09.07.2021 ст. "Воейково"

До полудня 10 июля ход трёх исследуемых величин был нормальным (рис. 3.11). После 12 часов образовывались кучево-дождевые облака нижнего яруса (40% закрытого неба). Наблюдался ливень в срок 15 часов. После 15 часов облака постепенно рассеивались.

Стабильный ход радиации наблюдался до 10 часов 15 июля (рис. 3.12), затем начали образовываться облака нижнего яруса и покрыли 40% небосвода. Ветра нет или очень слабый 1 м/с. К 17 часам наблюдались плотные перистые и кучево-дождевые облака (70-80%), началась гроза и ливень. Ветер повысился до 3 м/с. После 18 часов количество облаков

уменьшилось до 10% покрытого неба. Скачок температуры подтверждает явление грозы.

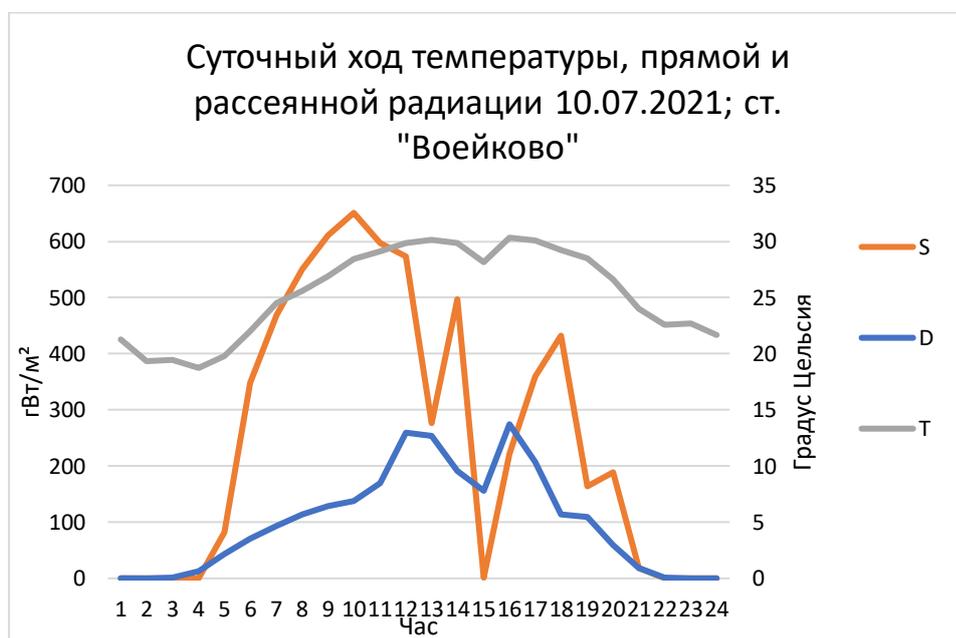


Рисунок 3.11 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 10.07.2021 ст. "Воейково"

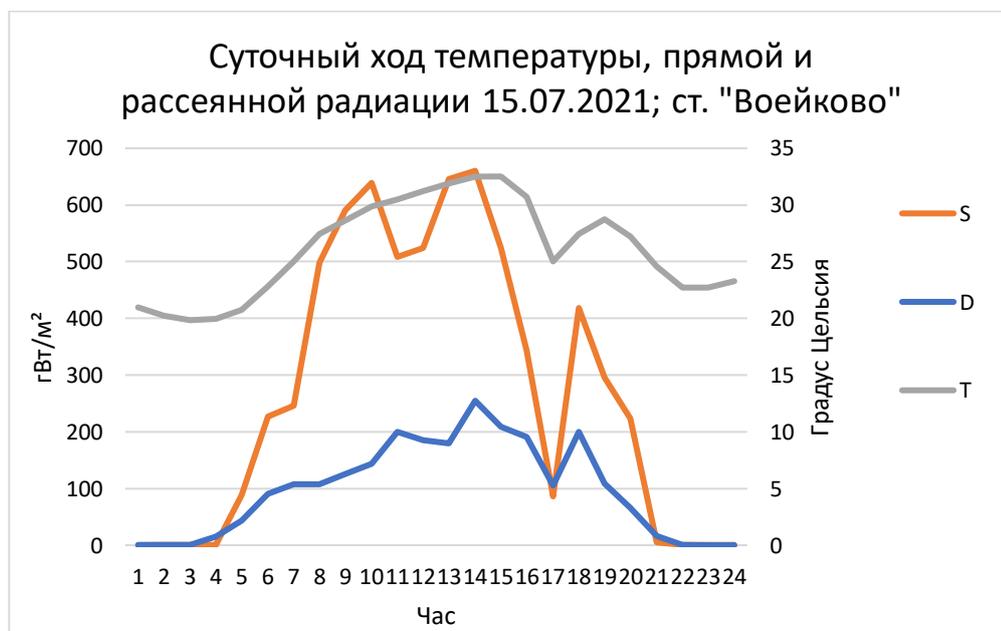


Рисунок 3.12 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 15.07.2021 ст. "Воейково"

До 3 часов ночи 22 июля (рис. 3.13) наблюдалось ясное небо. После появились высококучевые просвечивающие и перистые облака. К 12 часам небо было на 100% покрыто кучевыми и кучево-дождевыми облаками. С 14 часов наблюдался ливень, с 18 часов гроза. Скачок радиации в 16 часов обусловлен непродолжительным рассеиванием облаков нижнего яруса. Температура дня ниже среднемесячного значения.



Рисунок 3.13 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 22.07.2021 ст. "Воейково"

Обработав данные за второй летний месяц 2021 года, был проанализирован суммарный приток тепла (рис. 3.14). В среднем в июле на подстилающую поверхность исследуемой местности поступало 265,4 гВт/м² суммарной солнечной радиации. Самое высокое значение зафиксировано 03.07. Действительно, в этот день небо было абсолютно безоблачным, а скорость ветра не превышала 1 м/с.

Температурный максимум июля наблюдался 15 числа. +32.5 °C зафиксировано в срок 14 часов. Средняя температура за этот день составила 26,1 °C, в то время, как среднемесячное значение равно 21,3 °C. Весь день

небо было покрыто мощными кучевыми, кучево-дождевыми и слоисто-кучевыми облаками, которые не давали теплу от нагретой до этого поверхности рассеяться в атмосфере (гроза).



Рисунок 3.14 – Ход суммарной радиации за июль 2021 ст. "Воейково"

Ниже приведена гистограмма общей повторяемости значений суммарной радиации (рис. 3.15).

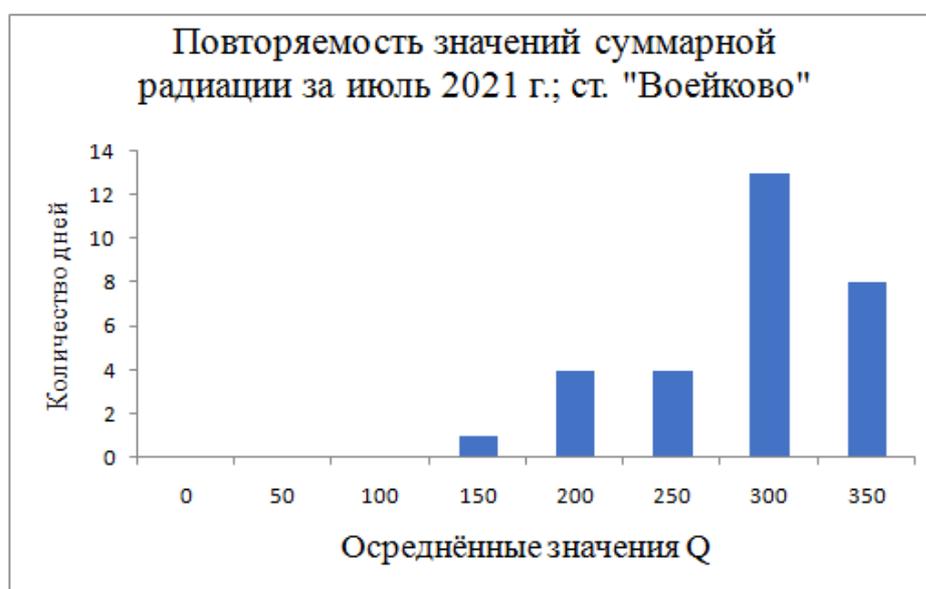


Рисунок 3.15 – Повторяемость значений суммарной радиации за июль 2021 г.

Распределение осредненных значений суммарной радиации в июле 2021 г. несколько отличается от данных первого месяца лета (рис. 3.8). С одной стороны, в июле максимум сместился до 300 гВт/м²(13 дней) с 350гВт/м²в июне (17 дней), но и дней с Q<150 гВт/м²в июле не наблюдалось.

3.3 Август 2021 года

Весь день 3 августа (рис. 3.16) наблюдался ливень. Всё время небо было покрыто облаками нижнего яруса на 100%, за исключением сроков: 6 часов (40-60%); 12 часов (70%). Температура весь день была ниже нормы. Световой день с 4 до 21 часа.

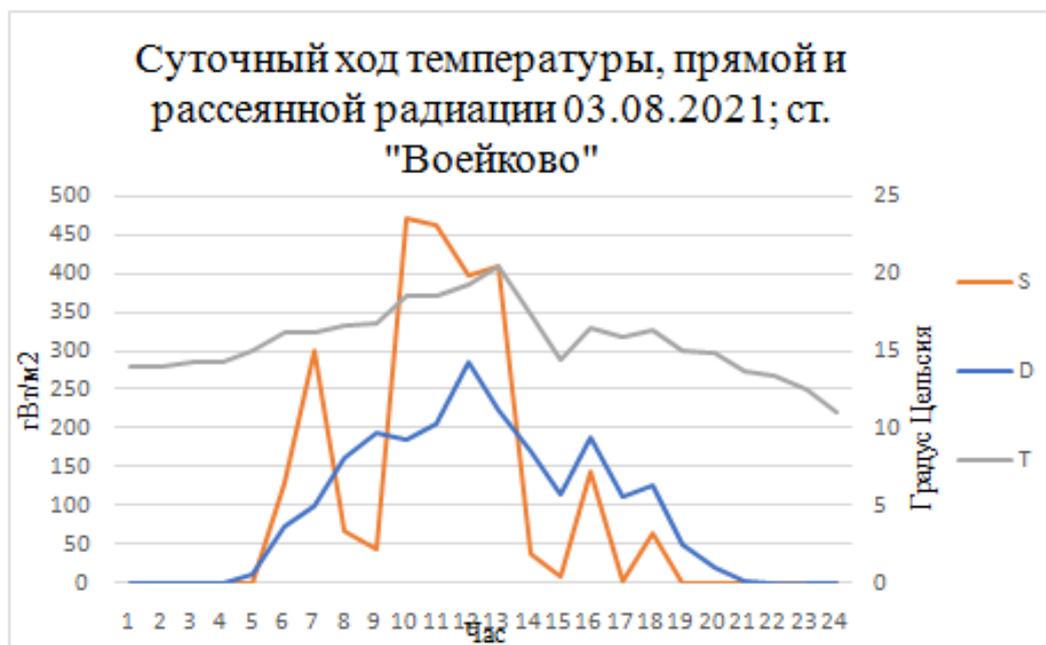


Рисунок 3.16 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 03.08.2021 ст. "Воейково"

На протяжении всего дня 7 августа солнечный диск был закрыт плотными облаками (рис. 3.17). Во все сроки зафиксирован ливень или дождь. Скачок рассеянной радиации в 10 часов обусловлен прохождением

чуть менее плотных облаков. Значения температуры характерны для подобной климатической ситуации.



Рисунок 3.17 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 07.08.2021 ст. "Воейково"

Следующий день, восьмое августа (рис. 3.18). Ночью и днем состояние неба практически не менялось, температура оставалась в том же диапазоне значений. С 16 до 19 часов облака нижнего яруса немного рассеялись (осталось 80-90% от общего количества), но средний и верхний ярусы не давали пробиться прямым лучам к земной поверхности. Дождь длился весь день.

С 8 часов 14.08 (рис. 3.19) начали образовываться облака всех ярусов: перистые, высококучевые и кучевые плоские. Небо покрыто на 70-80%. После полудня началась гроза с дождем, закончилась около 15 часов. Небо оставалось на 70% закрыто облаками.

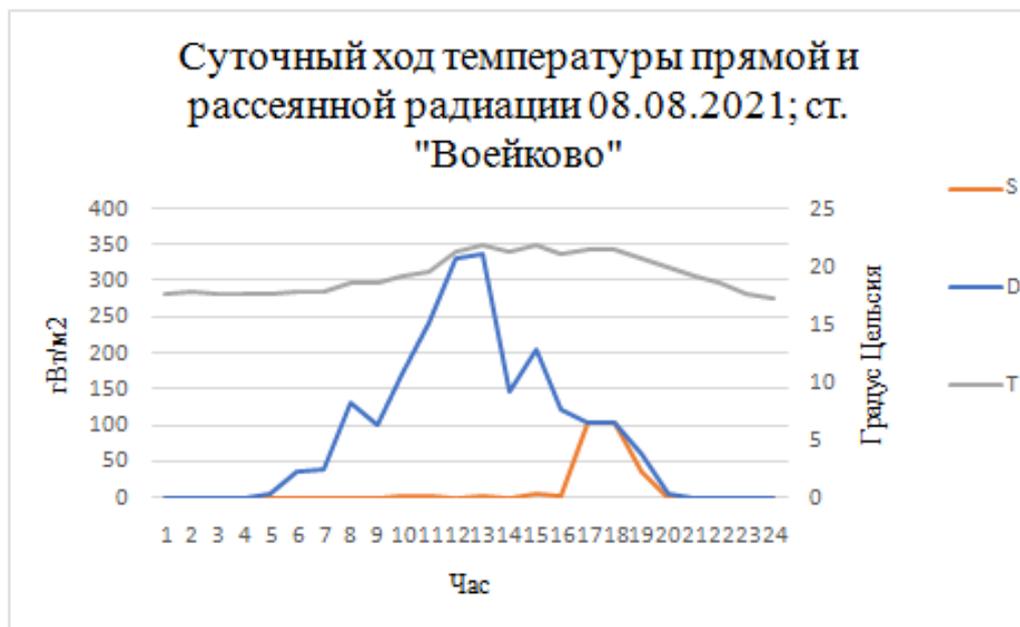


Рисунок 3.18 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 08.08.2021 ст. "Воейково"

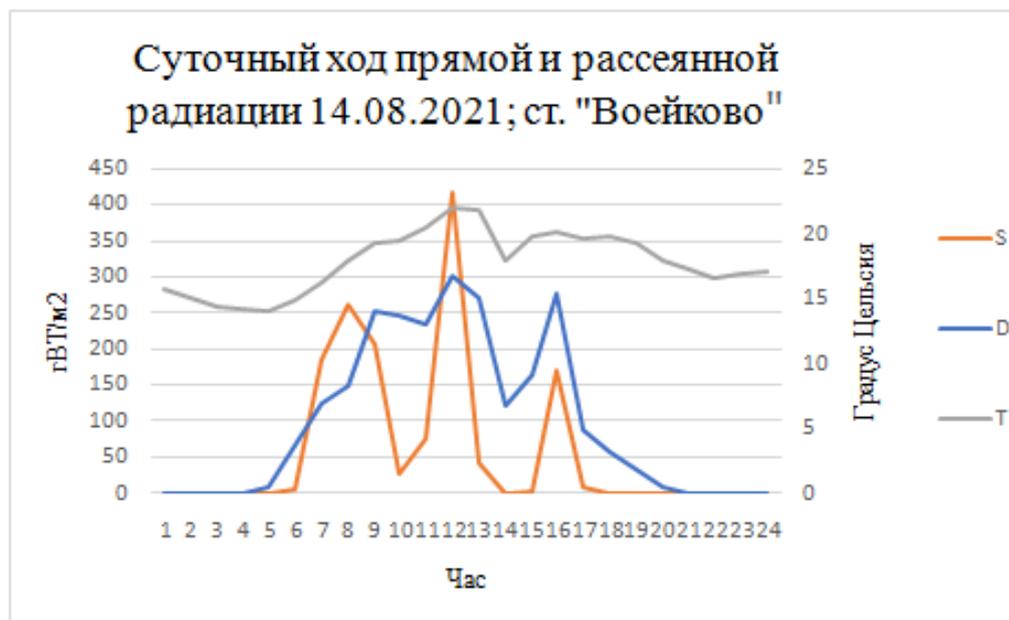


Рисунок 3.19 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 14.08.2021 ст. "Воейково"

С 00 часов до 6 18 августа зафиксирован дождь. В связи с этим прямых солнечных лучей в ранние утренние часы не наблюдалось (рис. 3.20). С 7 до 14 часов небо было закрыто облаками всего на 40 %, причем облака нижнего яруса составляли всего 20% из них (остальные-перистые). Это объясняет высокое значение прямой солнечной радиации, зафиксированное в срок 12 часов. Облака всех ярусов отсутствовали на солнечном диске. С 15 часов поднялся ветер южного направления 5м/с, с порывами до 11 м/с. Началось образование слоисто-кучевых облаков.

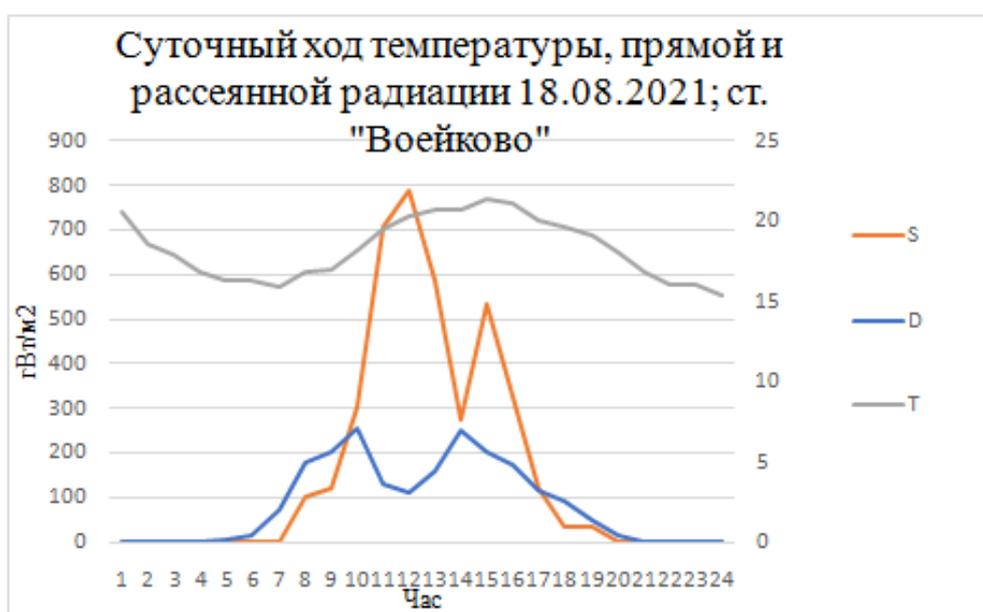


Рисунок 3.20 – Суточный ход температуры, прямой и рассеянной радиации 18.08.2021 ст. "Воейково"

Исследуя данные ААК за август (рис. 3.21), я установила, что этот месяц имеет самые низкие значения температуры и притока радиации и за весь исследуемый период (лето 2021 года). Среднее значение суммарной радиации равно 142,5 ГВт/м². 4 августа выделен как день с самым высоким значением данной величины: 263 ГВт/м². Распределение осредненных значений суммарной радиации за август 2021 г. показано на рисунке 3.22.

Гистограмма позволяет убедиться в правильности сделанного вывода. Максимум Q опустился до значений 100-200гВт/м². Значение в 300гВт/м² (июльский максимум 13 дней) в августе отмечено всего 1 раз. Зато минимальные значения опустились до 50гВт/м².



Рисунок 3.21 – Ход суммарной радиации за август 2021 ст. "Воейково"

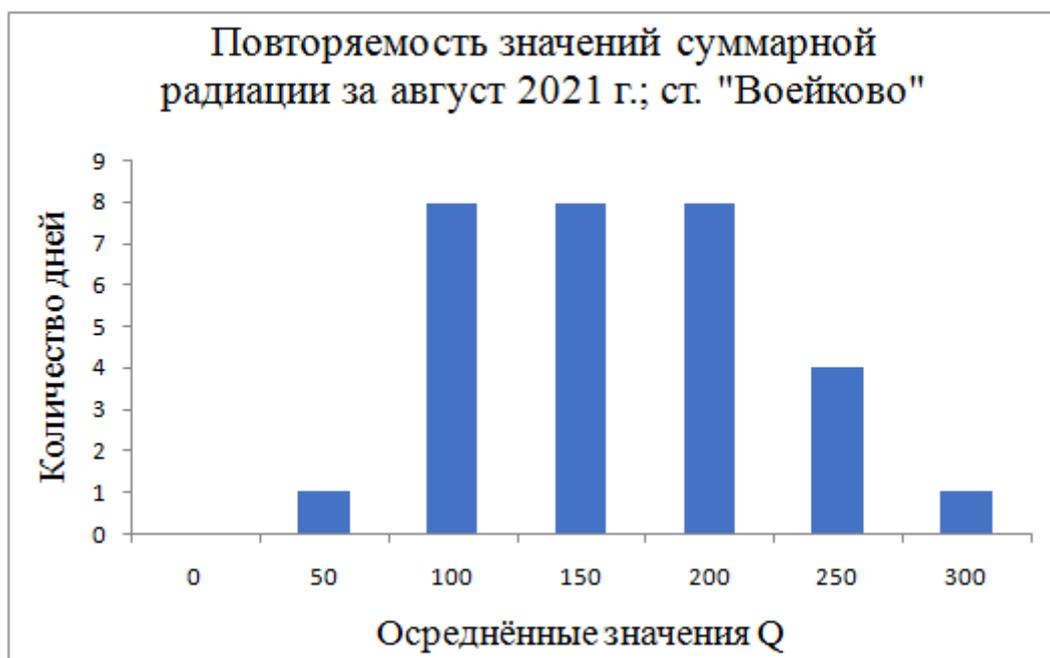


Рисунок 3.22 – Повторяемость значений суммарной радиации за август 2021г

Средняя температура месяца составила 15,5 °С. 17 августа – самый жаркий день со средней температурой 19,4 °С.

Основываясь на этих данных, можно сделать вывод о том, что август 2021 года был самым холодным из трёх летних месяцев. Также отмечено большое количество пасмурных дней и осадков в виде дождя.

3.4 Сравнительный анализ

Для наглядности сравнения данных за летний сезон все рассчитанные значения сведены в таблицу средних значений двух определяющих параметров по каждому месяцу (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Средние значения суммарной радиации и температуры воздуха за лето
2021 года

	Средняя суммарная радиация, гВт/м ²	Средняя температура, °С
Июнь	281,2	19,8
Июль	265,4	21,3
Август	142,5	15,5

Июнь 2021 года отмечен как месяц с рекордным количеством ясных солнечных дней, это подтверждает и выполненное исследование. За всё лето самый большой приток радиации пришёлся на первый месяц. Очевидно, что пасмурных дней было крайне мало. Это подтверждается данными облачности с архива метеостанции «Воейково».

Июль является самым тёплым месяцем лета 2021 года. Средняя температура выше на почти 2 °С, чем в июне. Приток радиации был не слабый, однако дней с плотной облачностью было достаточно много, за счёт этого и сохранялась высокая температура приземного воздуха.

Август выделяется заметной разницей показателей и суммарной радиации, и температуры. Они значительно ниже, чем в двух предыдущих месяцах. Средний приток тепла ниже на 140 гВт/м² значений июня. Это показывает, насколько разным было состояние неба в эти два месяца. В последнем, большое количество пасмурных дней, а температура не могла подняться выше из-за долгого отсутствия прямых солнечных лучей.

В ходе исследования было установлено, что самый жаркий день не является максимумом по притоку радиации на Землю. Для удержания тела и прогрева воздуха от подстилающей поверхности необходима плотная облачность, а для максимального притока солнечной радиации – чистое небо.

Заключение

В наше время результаты изучения актинометрии применяются не только в аэрологии и метеорологии, но и во многих областях повседневной жизни, например, на основе актинометрических данных выводятся климатические тенденции. Непосредственно от этих данных зависит эффективность сельского хозяйства и некоторых отраслей промышленности. Медицина, архитектура, транспорт так же не обходятся без статистики поступающей и отраженной радиации. Само изучение актинометрии тесно связано с атмосферной оптикой, спектроскопией и имеет много общего с гелиофизикой. Конечно, для точных прогнозов и правильного ведения учета данных, необходимы хорошие приборы.

В работе подробно рассмотрены составляющие актинометрических станций России, принцип работы основных приборов и диапазон их измерений, изучен состав ААК и подготовлен ежеминутный архив актинометрических данных и метеопараметров за лето 2021 года

На основе данных современного актинометрического комплекса проведено исследование изменчивости прямой, рассеянной и суммарной радиации, а также температуры воздуха за летний период (июнь, июль, август) 2021 года.

При выполнении комплексного анализа кроме базы ААК были использованы архивы метеорологической станции Воейково [8].

В результате исследования выявлено, что

- самый большой приток радиации пришёлся на июнь 2021 года;
- июль является самым тёплым месяцем лета 2021 года (средняя температура выше почти на 2°C, чем в июне), но приток суммарной радиации несколько ниже, поскольку дней с плотной облачностью было достаточно много;

- в августе значительно ниже, чем в двух предыдущих месяцах, показатели и суммарной радиации (почти в два раза), и температуры (среднее значение на 6°С ниже, чем в июле).

Надо сказать, что автоматизация актинометрических измерений сильно упростила работу метеоролога на станции, а также позволило получать более точные данные о приходящей радиации за счет более частых измерений. Кроме того, полученные данные имеют меньшую погрешность, чем снятые вручную.

Список использованных источников

1. Восканян К.Л., Саенко А.Г.Актинометрические наблюдения. Пособие для учебной практики - СПб.: РГГМУ, 2010. - 54 с.
2. Реденко М.Д. Автоматизация актинометрических измерений. Материалы Международного студенческого форума 2022 <https://files.scienceforum.ru/pdf/2022/620d02dc40af1.pdf>
3. Заключение о состоянии и работе метеорологической, актинометрической и теплобалансовой сетей Росгидромета в 2018 году http://voeikovmgo.ru/download/2019/state_works_2018.pdf
4. Автоматические метеорологические станции: в 2 т. / К.Л. Восканян, А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова. — Ч. 1. Тактико-технические характеристики: учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 170 с.
5. Руководство к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Методы и средства гидрометеорологических измерений» Н.О. Григоров, Н.В. Зудинов, К.Л. Восканян, А.Г. Саенко. http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_21e1522c690f497eaeff0aecfff1f6931.pdf
6. Оборудование фирмы Пеленг (Электронный ресурс). Режим доступа: <https://peleng.by/products/meteorology>
7. Оборудование фирмы Kipp&zonen (Электронный ресурс). Режим доступа: <https://www.kippzonen.com/Products>
8. Архив погоды (Электронный ресурс). Режим доступа: [Архив погоды в Воейково \(rp5.ru\)](http://www.voeiko.ru)