



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
(магистерская диссертация)

На тему «Усовершенствование методики поверки
эталонных пиргелиометров и актинометров»

Исполнитель

Родионов Артём Алексеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

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

Кузнецов Анатолий Дмитриевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой ЭФА

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«06» февраля 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

РЕФЕРАТ

Дипломная работа: 91 с., 17 рис., 8 табл., 3 прил., 23 ист. литературы.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ ЭТАЛОННЫХ ПИРГЕЛИОМЕТРОВ И АКТИНОМЕТРОВ

Объект исследования: методика поверки эталонных пиргелиометров и актинометров

Предмет исследования: недостатки методики поверки по отношению к состоянию современной реальности и международным стандартам.

Цель работы: Выявить недостатки методики поверки, разработать предложения по их устранению и провести апробацию изменений на реальных данных.

В дипломной работе проводится анализ недостатков методики поверки и предлагаются способы их устранения с целью соответствия методики поверки современной реальности и международным стандартам. Дается описание вторичного эталона энергетической освещенности солнечным излучением, рабочих эталонов (пиргелиометров и актинометров) и применяемой на данный момент методики их поверки. Также, приводятся результаты проведенной апробации изменений в методику поверки по данным измерений при поверке пиргелиометров и актинометров, организованной ФГБУ «ГГО» в 2023 году в г. Кисловодск.

Ключевые слова: солнечная радиация, метрологическое обеспечение, поверка, энергетическая освещенность солнечным излучением, актинометры, пиргелиометры.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ЭТАЛОННЫЕ ПИРГЕЛИОМЕТРЫ И АКТИНОМЕТРЫ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИХ ПОВЕРКИ.....	12
1.1. Вторичный эталон Росгидромета единицы энергетической освещённости солнечным излучением. Описание и принцип работы	12
1.1.1. Общее описание	12
1.1.2. Краткое описание конструкции и принципа действия	16
1.2. Рабочие эталоны единицы энергетической освещённости солнечным излучением – эталонные пиргелиометры актинометры. Описание и принципы работы.....	22
1.3. Методы и средства поверки эталонных пиргелиометров и актинометров.....	26
1.3.1. Условия поверки	27
1.3.2. Процедуры, выполняемые для определения метрологических характеристик эталонных актинометров и пиргелиометров с термобатареями	29
1.3.3. Критерии пригодности	31
ГЛАВА 2. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ ЭТАЛОННЫХ ПИРГЕЛИОМЕТРОВ И АКТИНОМЕТРОВ.....	33
2.1. Недостатки существующей методики поверки	33
2.2. Описание процедур поверки, закрывающих существующие недостатки	39
2.2.1. Изменение порядка расчёта коэффициента преобразования.	39
2.2.2. Дополнительный расчёт абсолютной погрешности.....	41
2.2.3. Итоговые изменения и дополнения в применяемую методику поверки	42
ГЛАВА 3. СОЗДАНИЕ И ОБРАБОТКА АРХИВОВ ДАННЫХ ДЛЯ АПРОБАЦИИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ.....	44
3.1. Описание подготовки опорного архива данных измерений при поверке эталонных пиргелиометров и актинометров в Кисловодске в 2023 году	44
3.2. Обработка опорного архива данных двумя методами	48
3.3. Оценка и анализ полученных результатов	50

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Исходные данные совместных измерений при поверке рабочих эталонов ЭОСИ.	59
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Таблица с итоговым расчётом по ГОСТ Р 8.807-2012	65
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Таблицы с итоговым расчётом, согласно предлагаемым изменениям и дополнениям в существующую методику поверки	66

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВМО – Всемирная метеорологическая организация

ГГО – Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова

ГПС – государственная поверочная схема

МРЦ – мировой радиационный центр

МРЭ – мировой радиационный эталон

НРЦ – национальный радиационный центр

РРЦ – региональный радиационный центр

СКО – среднее квадратическое отклонение

ЭОСИ – энергетическая освещённость солнечным излучением

IPC – International Pyrheliometer Comparison (международные сравнения пиргелиометров)

PMOD/WRC – Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos / World Radiation Center (Давосская физико-метеорологическая обсерватория / Мировой радиационный центр)

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее важные переменные, входящие в состав теплового баланса Земли в целом и каждого отдельного места на земной поверхности и в атмосфере – это потоки электромагнитного излучения (радиации), приходящие к поверхности Земли и уходящие от нее. Согласно ВМО [8], измерения потоков и сумм радиации имеют большое значение для следующих целей:

- исследование преобразования энергии в пределах системы Земля - атмосфера и ее изменений в пространстве и времени;
- анализ свойств и распределения в атмосфере таких составляющих, как аэрозоли, водяной пар, озон и др.;
- исследование распределения и изменений приходящей, уходящей и остаточной радиации;
- удовлетворение потребностей специалистов в области биологии, медицины, сельского хозяйства, архитектуры и промышленности в отношении данных о радиации;
- проверка алгоритмов и спутниковых измерений радиации.

Такое многообразие применений требует получения регулярных рядов данных наблюдений за различными видами коротковолновой и длинноволновой радиации на широкой сети актинометрических станций. Благодаря таким сетям возможно получение исчерпывающих климатических радиационных данных, с помощью которых можно определять суточные и сезонные вариации различных составляющих радиационного баланса и оценивать соотношения между ними и другими метеорологическими величинами.

Актинометрические сети функционируют в большинстве стран-членов Всемирной Метеорологической Организации (ВМО). Данные с мировой актинометрической сети собирает и архивирует Мировой Центр Радиационных Данных (МЦРД), функционирующий с 1964 года на базе Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова [20].

При содействии ВМО, с 1992 года начала свою работу опорная сеть для измерения приземной радиации (BSRN – Baseline Surface Radiation Network) [16]. BSRN создана для централизованного сбора и архивации высокоточных данных о приземной солнечной радиации со всего земного шара с высоким временным разрешением (1 минута), а также с применением наилучших практик актинометрических измерений, их методического и метрологического обеспечения. Распределение станций BSRN показано на рисунке 1 [21]. В эту сеть включены две российские станции: на мысе Баранова и в п. Тикси. Однако в данный момент эти станции неактивны из-за проблем с обслуживающим персоналом.

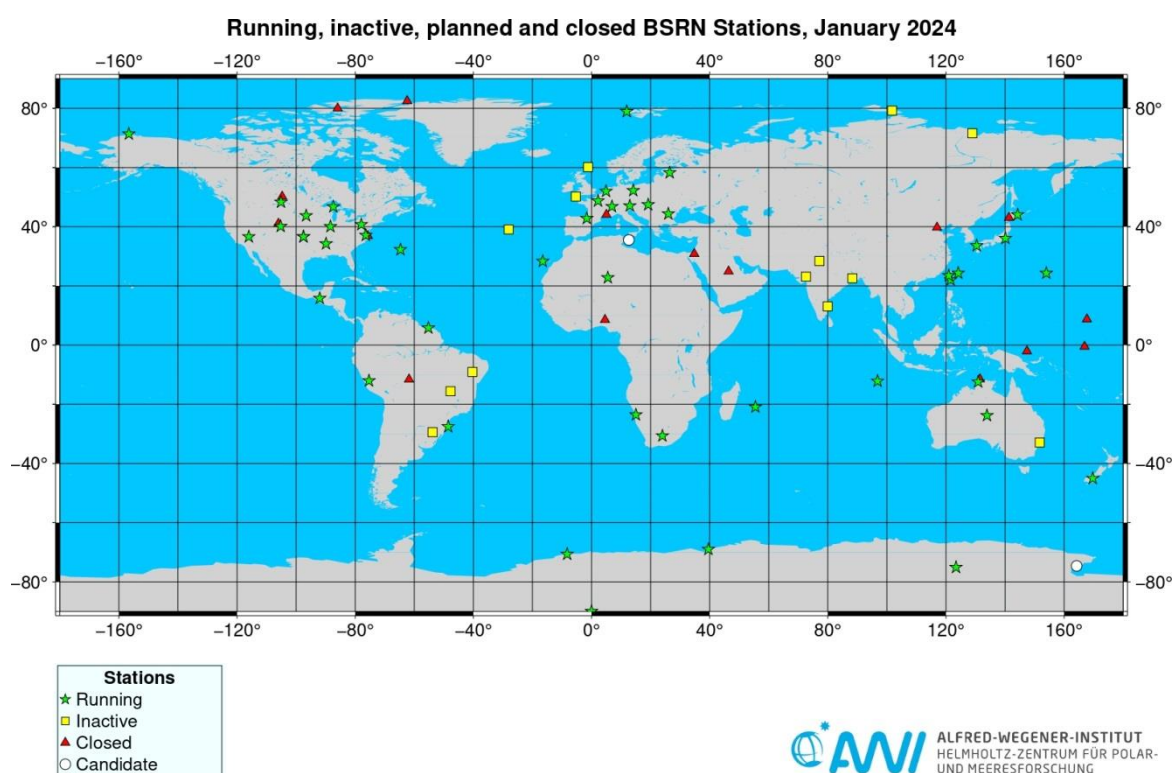


Рисунок 1 – Распределение актинометрических станций BSRN: звёздочками отмечены действующие, квадратами – неактивные, треугольниками – закрытые, кружочками – кандидаты на включение в сеть

На территории Российской Федерации сеть актинометрических измерений функционирует с начала XX столетия. На сегодняшний день на ней производятся измерения нескольких видов солнечной радиации (энергетической освещённости солнечным излучением – ЭОСИ): прямой,

рассеянной, отражённой, суммарной, ультрафиолетовой. Помимо указанных видов солнечной радиации на актинометрической сети выполняются приземные измерения радиационного баланса, приходящего и уходящего длинноволнового излучения. Кроме этого, актинометрические измерения радиационного баланса производятся на станциях теплобалансовой наблюдательной сети.

По состоянию на начало 2023 года, актинометрическая сеть Росгидромета была представлена 159 пунктами (рис. 2) [22]. Наблюдения на актинометрической сети ведутся по 3 программам:

срочные актинометрические наблюдения – дискретные наблюдения в 6 актинометрических сроков по солнечному времени;

регистрация радиационного баланса и его составляющих – непрерывные наблюдения для определения часовых, суточных и месячных сумм радиации прямой, рассеянной, суммарной, отраженной радиации и радиационного баланса (полная регистрация) или отдельных видов коротковолновой радиации (неполная регистрация);

интегрирование – наблюдения для определения суточных и месячных сумм суммарной радиации.

Данные измерений, получаемые с актинометрической сети обрабатывают и передают в режимно-справочный банк данных (РСБД) «Актинометрия» [23], а архивы актинометрических данных передаются из ГГО в Госфонд (ВНИИГМИ-МЦД).

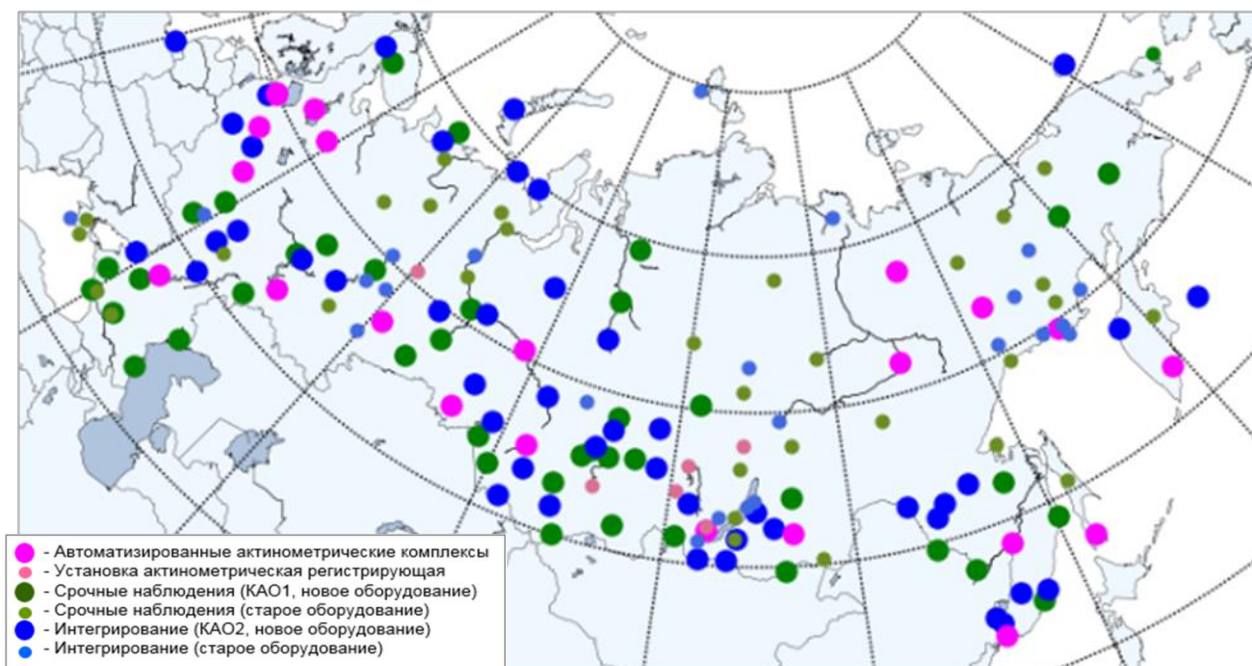


Рисунок 2 – Актинометрическая наблюдательная сеть Росгидромета по состоянию на 01.01.2023 с указанием программ наблюдений и состоянием измерительного оборудования

Как и для всех остальных метеопараметров, для приземных измерений солнечной радиации крайне важно контролировать их точность и прослеживаемость к единому эталону. Такой подход необходим для того, чтобы данные измерений с разных измерительных сетей были сопоставимы между собой и чтобы повысить качество и достоверность результатов практических и научных исследований, в которых используются эти данные. Сейчас, как и ранее, качеству и точности данных сетевых измерений уделяется много внимания, и эта тема остаётся одной из активно обсуждаемых проблем. Показательный тому пример – недавняя международная конференция «Метрология для климатических действий» [17], проведённая Международным Бюро Мер и Весов (МБМВ) совместно с ВМО. Одна из тем, обсуждаемых на ней, была о проблемах и современных требованиях к точности приземных измерений коротковолновой и длинноволновой радиации.

Международные рекомендации к приборам, измеряющим солнечную радиацию, к их точности и метрологической прослеживаемости закреплены в Руководстве по приборам и методам наблюдений ВМО [8]. Согласно этим

рекомендациям, систему метрологического обеспечения измерений солнечной радиации можно схематично изобразить диаграммой представленной на рисунке 3.



Рисунок 3 – Схема международного метрологического обеспечения приземных измерений солнечной радиации

Первичный эталон – международный радиационный эталон (МРЭ) – хранится и исследуется в мировом радиационном центре (МРЦ), которым является Давосская Физико-Метеорологическая обсерватория (PMOD/WRC - Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos / World Radiation Center). От МРЭ единица передаётся вторичным эталонам, которые хранятся в региональных радиационных центрах (РРЦ). Далее, от вторичных эталонов единица передаётся рабочим эталонам, которые хранятся в национальных радиационных центрах (НРЦ). С помощью рабочих эталонов НРЦ выполняют калибровку рабочих средств измерений, установленных на актинометрических сетях. На практике калибровку рабочих средств измерений также выполняют и РРЦ. Вместе с этим, НРЦ так же, как и РРЦ, допущены к сравнениям своих эталонов с МРЭ. В руководстве ВМО [8, приложение 7.C] приведён список РРЦ, требования к МРЭ и к эталонам РРЦ и НРЦ.

На территории Российской Федерации реализована рекомендованная ВМО система метрологического обеспечения приземных измерений солнечной радиации (рис. 4), однако с локальными особенностями.

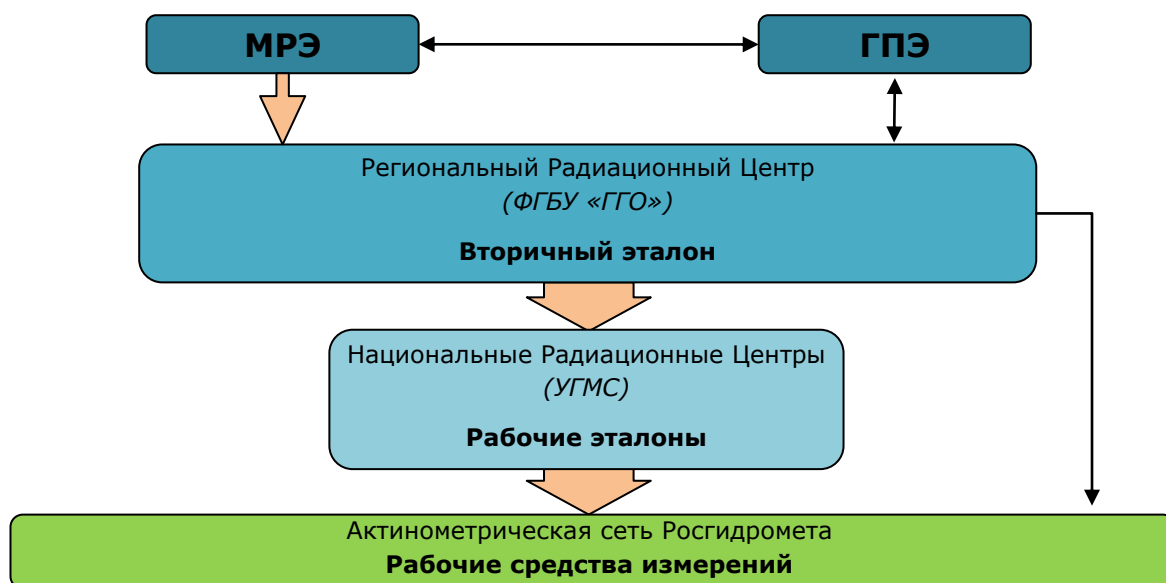


Рисунок 4 – Схема метрологического обеспечения приземных измерений солнечной радиации, реализованная на территории Российской Федерации

На территории РФ учреждён один из РРЦ шестого региона ВМО (Европа). Расположен он в Главной Геофизической Обсерватории им. А.И. Воейкова. Вторичный эталон ГГО получает единицу от МРЭ, однако, в силу российского метрологического законодательства он также должен сличаться с государственным первичным эталоном (ГПЭ) радиометрических и спектрорадиометрических единиц величин, который, в свою очередь, тоже сличается с МРЭ. Далее, вторичный эталон передаёт единицу рабочим эталонам НРЦ, которыми на территории РФ являются управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС), а конкретнее, поверочные лаборатории их служб средств измерений. Лаборатории УГМС, в свою очередь выполняют поверку и калибровку рабочих средств измерений на актинометрической сети Росгидромета. ГГО тоже может и выполняет поверку некоторых рабочих актинометрических средств измерений с сети.

Метрологическое обеспечение актинометрических измерений в РФ закреплено государственной поверочной схемой [6], в которой утверждена

иерархия передачи единицы измерений (энергетической освещённости солнечным излучением) от ГПЭ к рабочим средствам измерений.

Стоит также упомянуть о том, что в Российской Федерации требования к гидрометеорологическим средствам измерений (в частности и к актинометрическим) установлены в РД 52.18.761-2018 [4]. Указанный руководящий документ не должен противоречить более общему перечню измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений [7].

Одной из важнейших частей системы метрологического обеспечения приземных измерений солнечной радиации, как и любой другой подобной системы, является этап передачи единицы измерений от эталонов к рабочим средствам измерений или от эталонов более высокого ранга нижестоящим эталонам. Требования к методам и средствам передачи единиц измерений закрепляются в методиках калибровки или в методиках поверки.

ВМО рекомендует проводить калибровки рабочих средств измерений согласно международным стандартам ISO, которые имеются для основных СИ, измеряющих на актинометрических сетях. Недостатком этих стандартов является их частичная доступность: чтобы получить текст стандарта, необходимо его купить.

В России метрология актинометрических измерений активно развивалась вместе с актинометрической сетью. Благодаря этому на данный момент у нас имеется комплекс нормативной документации, методик поверки и методических указаний, ориентированный на обеспечение единства измерений в области актинометрии и приближенный к международным требованиям. Особое внимание уделялось высоким ступеням передачи единицы измерений ЭОСИ – от вторичного эталона к эталонам более низкого разряда. Эти методики поверки закреплялись на общегосударственном уровне: сначала в методических инструкциях, а затем и в ГОСТ.

В условиях современного быстроизменяющегося мира стандарты быстрее теряют свою эффективность, а зачастую и пригодность. В связи с чем, их приходится чаще пересматривать, изменять и дополнять.

Целью данной работы является пересмотр и усовершенствование одной из частей методики поверки эталонных средств измерений ЭОСИ утверждённой в ГОСТ Р 8.807-2012 [2]. Ниже приведено описание эталонных средств измерений (вторичный эталон и рабочие эталоны), дано детальное описание применяемой методики поверки, её анализ на недостатки, их обоснование, а также предложения к изменениям с целью закрыть обнаруженные недостатки. После этого, приведены результаты апробации усовершенствованной методики поверки на результатах измерений при поверке рабочих эталонов ЭОСИ по вторичному эталону в г. Кисловодск.

ГЛАВА 1. ЭТАЛОННЫЕ ПИРГЕЛИОМЕТРЫ И АКТИНОМЕТРЫ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИХ ПОВЕРКИ

1.1. Вторичный эталон Росгидромета единицы энергетической освещённости солнечным излучением. Описание и принцип работы

1.1.1. Общее описание

На сегодняшний день, вторичный эталон единицы ЭОСИ, хранимый и применяемый в ГГО - это групповой эталон, состоящий из трёх абсолютных приёмников излучения: двух пиргелиометров М-59 №14 и №15, и одного пиргелиометра РМО6 № 0817 (рис. 5)

В Гидрометслужбе СССР с 1928 года национальным эталоном единицы солнечной радиации был утверждён пиргелиометр Ангстрема № 212 (рис. 6), который был приобретён в Швеции, где также были определены его первоначальные характеристики [13]. Позднее вместе с ним в состав эталонной группы вошёл схожий с ним пиргелиометр Ангстрема № 250. После разработки в ГГО пиргелиометров М-59 в 1959 г. [14] два из них также вошли в состав эталонной группы и остаются в ней по сей день. В 2011 году в ГГО был закуплен абсолютный радиометр РМО6 (PMOD/WRC, Швейцария) и после взаимных сличений с эталонной группой вторичного эталона и участия в Балтийских региональных сравнениях пиргелиометров, он вошёл в состав эталонной группы [10]. В 2020 году, при очередной аттестации вторичного эталона было решено убрать из состава пиргелиометры Ангстрема № 212 и № 250 и, таким образом, сформировался действующий на текущий момент состав вторичного эталона.

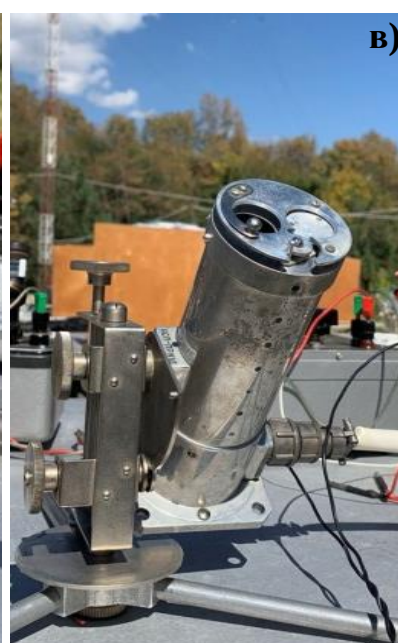


Рисунок 5 – Пиргелиометры из состава вторичного эталона единицы ЭОСИ: а) РМО6 №0817, установленный на систему слежения за солнцем; б) М-59 №14; в) М-59 №15



Рисунок 6 – Пиргелиометр Ангстрема № 212 со вспомогательным оборудованием при ежегодных сравнениях в г. Кисловодск

По стандартам РФ [1] погрешность вторичного эталона выражается указанием суммарного СКО результатов сличений с государственным первичным эталоном и не должна превышать 0,2 %, что так же отражено в ГПС [6]. Эта характеристика точности вторичного эталона применима для диапазона измерений ЭОСИ от 400 до 1360 Вт/м² и для спектрального диапазона от 0,3 до 10,0 мкм. В указанном спектральном диапазоне приёмники из состава вторичного эталона обладают свойством неселективности, т.е. их чувствительность не зависит от длины волны.

Одновременно с этим, погрешность вторичного эталона Росгидромета единицы ЭОСИ можно выразить в соответствии с рекомендациями ВМО [8]: неопределённость измерений группой эталонных пиргелиометров из состава вторичного эталона с доверительным интервалом в 95 % должна быть не более 1 Вт/м² при сличении с МРЭ.

Сличение вторичного эталона с МРЭ происходит в ходе Международных сравнений пиргелиометров (IPC – International Pyrheliometer Comparison), проводимых под эгидой ВМО. Это важнейшее по значимости мероприятие в области метрологии измерений солнечной радиации. Оно сыграло большую

историческую роль как в становлении обеспечения единства измерений солнечной радиации, так и в техническом развитии пиргелиометрии и эталонных пиргелиометров [11].

IPC проводят каждые пять лет, начиная с 1959 года, на базе PMOD/WRC в г. Давос, Швейцария. На них происходит передача единицы от МРЭ к вторичным эталонам РРЦ и рабочим эталонам НРЦ. Результатом IPC для каждого из участников является WRR-фактор – это среднее отношение показаний МРЭ к показаниям пиргелиометра-участника.

ГГО непрерывно принимает участие в этих сравнениях, начиная с IPC-II (1964 г.). Крайние IPC XIII были проведены с сентября по октябрь 2021 года, и от ГГО на них принимал участие пиргелиометр РМО6 из состава вторичного эталона [19]. Для него был рассчитан WRR-фактор равный 0,999957 по 941 измерению, которые имели СКО в 762 ppm (0,000762). Графическое представление результатов IPC-XIII для РМО6 №0817 показаны на рисунке 7.

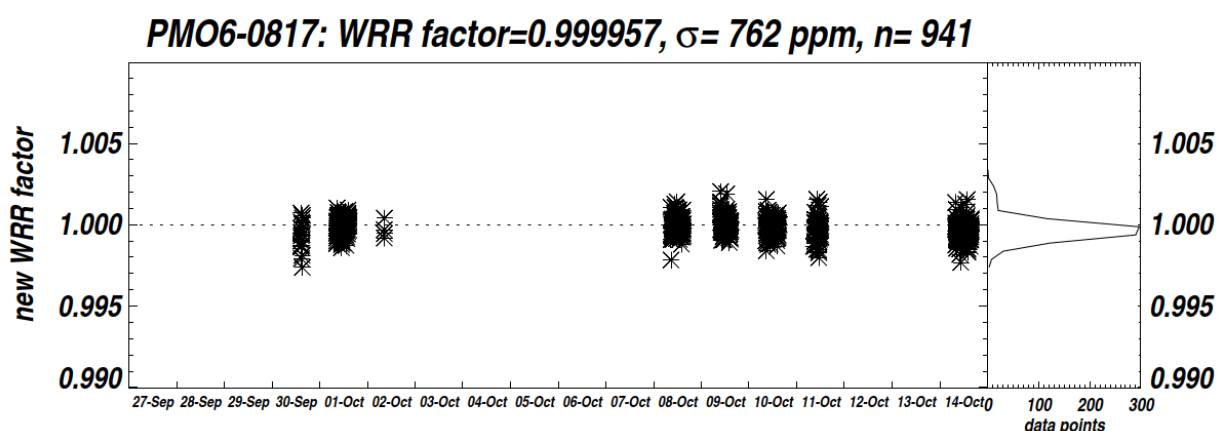


Рисунок 7 – Графическое представление результатов сличения РМО6 №0817 с

МРЭ в ходе IPC-XIII. В основной части графика приведены результаты единичных измерений WRR-фактора: на горизонтальной оси – время от начала до конца сравнений (27 сентября - 14 октября), на вертикальной – значение WRR- фактора. Справа: диаграмма частотного распределения значений WRR-фактора

1.1.2. Краткое описание конструкции и принципа действия

Пиргелиометр М-59

Пиргелиометр М-59 – это модернизированный пиргелиометр Ангстрема. Он имеет два приёмных отверстия с круглыми диафрагмами. Приёмными элементами, как и в пиргелиометре Ангстрема, являются зачернённые манганиновые полоски. Однако у М-59 на каждом из приёмных элементов имеется 3 полоски. К полоскам, в свою очередь, прикреплены спаи термобатарей, в отличие от Ангстрема, у которого к полоскам прикреплялись спаи одного термоэлемента. Угол зрения М-59 равен 10° . Конструктивная схема пиргелиометра М-59 приведена на рисунке 8.

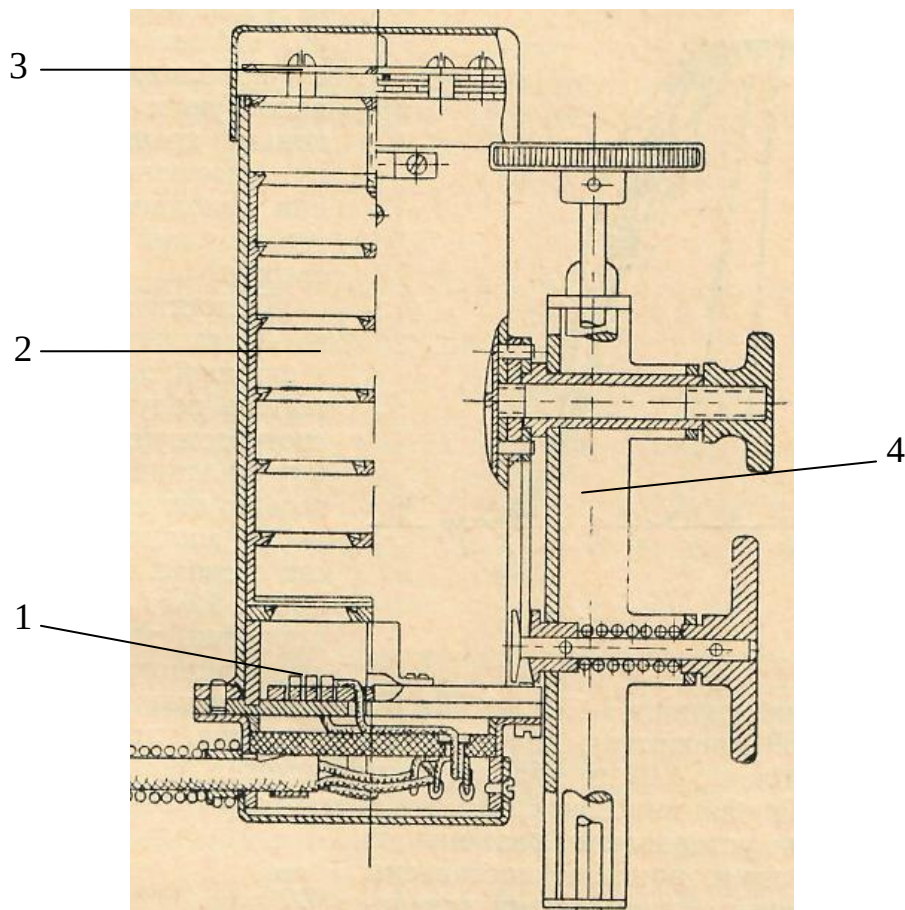


Рисунок 8 – Конструктивная схема пиргелиометра М-59: 1 – приёмный элемент; 2 – система диафрагм; 3 – затеняющий механизм; 4 часть стойки с нацеливающими механизмами [12]

Принцип измерения у М-59 остался тем же, что и у пиргелиометра Ангстрема. Для проведения измерения энергетической освещённости солнечного излучения необходимо нацелить пиргелиометр и затенить один из приёмных элементов. В затенённый приёмный элемент подаётся компенсационный ток, величина которого оценивается заранее, на основе известной постоянной пиргелиометра. Ток регулируется реостатами до тех пор, пока приёмные элементы не будут в одинаковых термических состояниях, что контролируется термобатареей, подключённой к ним, и нуль-гальванометром, позволяющим точно определять отсутствие тока в термобатарее. Соответственно, показаниями с пиргелиометра М-59 являются значения тока, который протекает через затенённый приёмный элемент. Используя измеренные значения тока, определяется прямая солнечная радиация по формуле:

$$S = K \cdot i^2, (1)$$

где S – значение прямой солнечной радиации; i – значение тока через затенённый приёмный элемент; K – постоянная пиргелиометра.

Ввиду не идеально одинакового изготовления приёмных элементов, дополнительного влияния неодинаковости токовых цепей приёмных элементов и плавающего «нулевого» значения нуль-гальванометра возникает разность показаний между измерениями по правому и по левому термоэлементу. Поэтому измерения пиргелиометром М-59 (как и Ангстремом) обычно усредняют минимум по двум измерениям (левым и правым приёмным элементом).

На сегодняшний день, измерения пиргелиометрами М-59 в ГГО производятся вручную и до сих пор не автоматизированы. В качестве нуль-гальванометра, по которому определяется момент компенсации (теплового равновесия освещённого и затенённого приёмных элементов) используется зеркальный гальванометр типа М 196/2 (ГОСТ 7324-68). Регулировка тока проводится вручную через панель с двумя реостатами (грубый и плавный), а

измерение силы тока производится с помощью лабораторного цифрового мультиметра Keithley 2000. Общий вид всей измерительной системы для пиргелиометра М-59 показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Общий вид пиргелиометра М-59 и его измерительной системы:

1 – пиргелиометр М-59; 2 – панель с реостатами;

3 – зеркальный нуль-гальванометр; 4 – цифровой мультиметр

Пиргелиометр РМО6

Пиргелиометр РМО6 – это приёмник излучения *полостного* типа. В качестве приёмного элемента у него выступает зачернённая полость в виде цилиндра, дно которого является острым конусом, обращённым вершиной навстречу падающему излучению [14]. Схема поглощения излучения полостью в РМО6 представлена на рисунке 10.

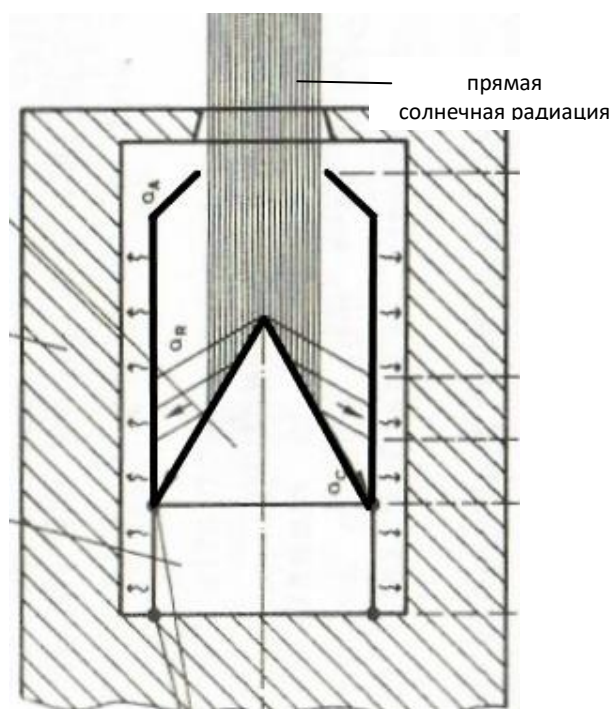


Рисунок 10 - Схема поглощения излучения полостью в РМО6 [18] (толстой линией выделена полость)

Конструктивно, РМО6 имеет две одинаково изготовленные полости, расположенные симметрично друг напротив друга. Только одна из них подвергается облучению солнечным излучением, а другая расположена внутри прибора и никогда не облучается. На рисунке 11 представлена конструктивная схема РМО6. Облучаемая полость называется основной (активной) полостью, а другая – компенсационной (пассивной). В обеих полостях имеются константановые электронагревательные элементы, приклеенные под поверхностью конусов полостей. Сами полости прикреплены к теплостоку (которым является корпус РМО6) через стальные трубки, являющиеся в этой конструкции тепловым импедансом. Система диафрагм перед основной полостью обеспечивает пиргелиометру полный угол зрения равный 5° .

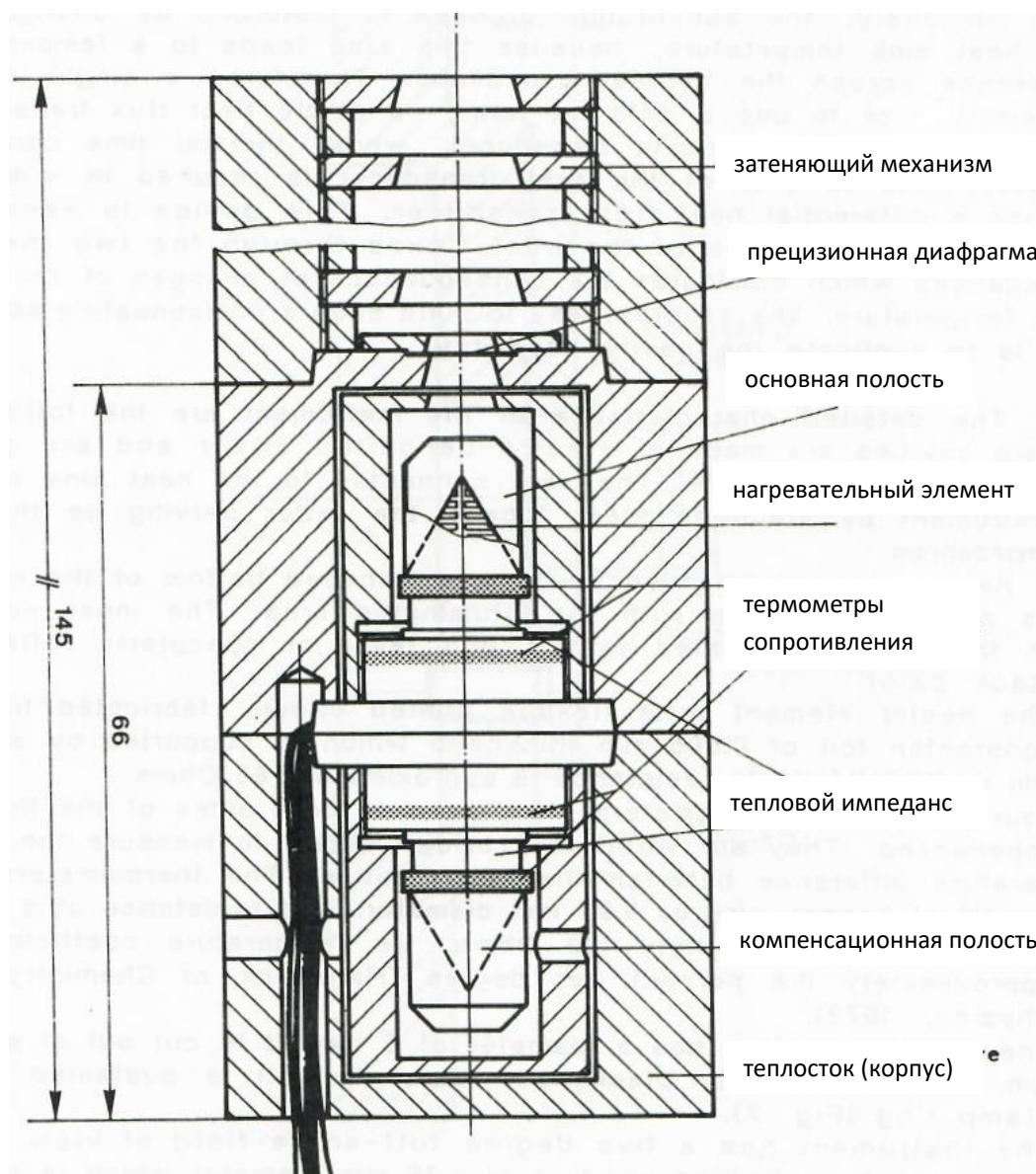


Рисунок 11 – Конструктивная схема РМО6 [18]

Принцип работы РМО6 базируется на всё том же принципе замещения мощности излучения на эквивалентную мощность электрическую.

Пиргелиометр работает в прерывистом режиме: основная полость попеременно подвергается излучению и затеняется с регулируемой периодичностью от 45 до 300 секунд. Измерения всегда начинаются и заканчиваются закрытой фазой. Обе полости в обеих фазах подогреваются нагревательными элементами. Компенсационная полость при этом подогревается нагревательным элементом с постоянной тепловой мощностью нагрева около 35 мВт, которая эквивалентна мощности излучения около 1700 Вт/м². Подогрев же основной полости зависит от фазы и, в общем случае, от

тепла, которое выделяется при поглощении ею солнечного излучения. Подогрев контролируется электросхемой по разности температур между термометрами сопротивления, установленными за тепловыми импедансами, и целью контроля является равенство температуры у основной полости температуре у компенсационной полости.

Во время закрытой фазы основная полость затеняется от излучения, нагревается до состояния теплового равновесия с компенсационной полостью и в этом состоянии удерживается всю фазу. Во время открытой фазы основная полость подвергается солнечному излучению, и мощность её подогрева снижается до состояния теплового равновесия с компенсационной полостью (мощность подогрева которой остаётся неизменной) и в этом состоянии также удерживается всю фазу. В конце обеих фаз измеряется электрическая мощность нагрева основной полости. Величина прямой солнечной радиации на момент конца открытой фазы рассчитывается по измерениям мощности нагрева закрытых фаз до и после открытой и по измерению мощности открытой фазы. То есть измерения могут быть получены только после закрытой фазы, следующей за открытой фазой. При этом используется формула:

$$S = C \cdot (\bar{P}_c - P_o), \quad (2)$$

где S – значение прямой солнечной радиации; $\bar{P}_c$ – среднее из двух мощностей нагрева, измеренных при двух закрытых фазах – до и после открытой; P_o – мощность нагрева, измеренная при открытой фазе; C – постоянная прибора [15].

Пиргелиометр РМО6 работает полностью в автоматическом режиме и управляется через специальный электронный блок управления, который, в свою очередь может управляться компьютером и передавать на него данные по интерфейсу RS-232. На рисунке 12 показан внешний вид блока управления с подключённым к нему ноутбуком.

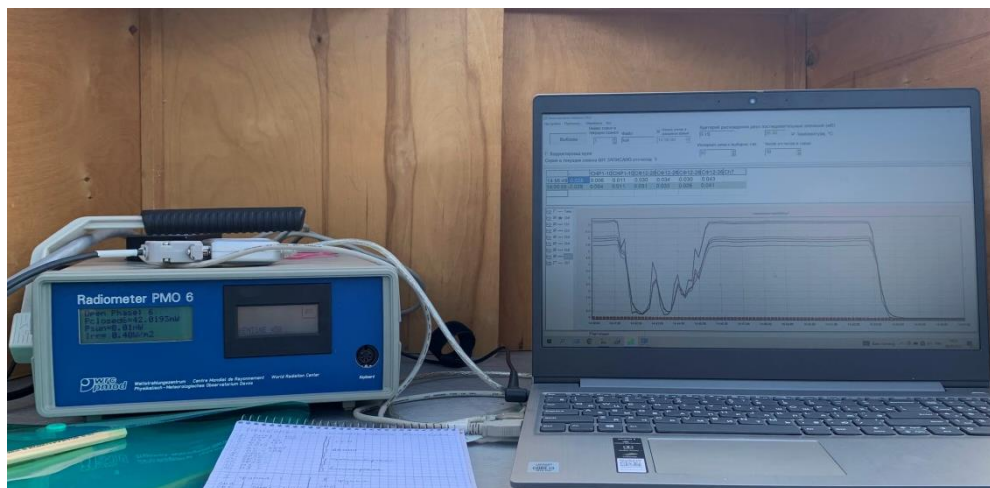


Рисунок 12 - Внешний вид блока управления с подключённым к нему ноутбуком

1.2. Рабочие эталоны единицы энергетической освещённости солнечным излучением – эталонные пиргелиометры актинометры. Описание и принципы работы

На данный момент в структуре Росгидромета в качестве рабочих эталонов единицы энергетической освещённости солнечным излучением применяются относительные приборы – актинометры и пиргелиометры с термобатарей.

Необходимо отметить, что в мировой практике любые средства измерений, измеряющие прямую солнечную радиацию, именуются как *пиргелиометры*, что и отражено в рекомендациях ВМО [8]. Однако в России сложилась такая практика, что пиргелиометрами назывались исключительно абсолютные приборы, такие как пиргелиометры Ангстрема и М-59, а относительные средства измерений прямой солнечной радиацией назывались актинометрами. В связи с этим при рассмотрении пиргелиометров зарубежных производителей схожих с актинометрами по конструкции и принципами работы может возникать путаница. В рамках данной работы пиргелиометры зарубежных производителей, работа которых основана на тех же принципах преобразования термобатарей прямого солнечного излучения в электрический сигнал, что и у актинометров М-3, будут именоваться *пиргелиометры с*

термобатарей, чтобы отличать их от компенсационных пиргелиометров Ангстрема и М-59.

Как уже было сообщено во введении, в соответствии со схемой ВМО, рабочие эталоны ЭОСИ хранятся и применяются в НРЦ для калибровки рабочих средств измерений. Однако они также могут храниться и применяться в РРЦ. В руководстве ВМО [8, гл.7, прил. 7.С] утверждены требования к НРЦ и к их рабочим эталонам. Приведём первые два требования здесь:

а) хранить, по крайней мере, два пиргелиометра для использования в качестве национального эталона для калибровки радиационных приборов, используемых в национальной сети радиационных станций с 95 % погрешностью менее 4 Вт/м^2 и сопоставимой с региональной реализацией МРЭ при стабильных, безоблачных погодных условиях и прямой энергетической освещенности выше 700 Вт/м^2 ; при этом предполагается, что 95 % любого отдельного измерения прямой солнечной энергетической освещенности будет находиться в пределах 20 Вт/м^2 энергетической освещенности;

б) один из национальных эталонных пиргелиометров следует сравнивать с региональным эталоном не реже одного раза в пять лет;

Требования к точности рабочих эталонов ЭОСИ в российской ГПС [6] выражены в относительных единицах. Кроме этого, рабочие эталоны в ГПС разделяются на два разряда. Рабочие эталоны первого разряда по ГПС должны иметь погрешность не менее 1,3 % в диапазоне от 400 до 1360 Вт/м^2 и спектральном диапазоне от 0,3 до 10,0 мкм. Рабочие эталоны 2-го разряда в рамках данной работы рассматриваться не будут.

Основной применяемый в качестве рабочего эталона ЭОСИ тип - это актинометры М-3 производства уже закрытого завода «Гидрометприбор» (г. Тбилиси, СССР). В некоторых УГМС уже имеются актинометры СФ-12 производства ОАО «Пеленг» (г. Минск, Республика Беларусь), которые рассматриваются к применению в качестве рабочих эталонов ЭОСИ и уже сравнивались с вторичным эталоном ГГО. Вместе с этим в ГГО (как и во

многих других РРЦ и НРЦ по миру) в качестве рабочих эталонов используются пиргелиометры с термобатареей типа СНР1 фирмы Kirr&Zonen (Нидерланды). Внешний вид перечисленных типов рабочих эталонов ЭОСИ представлен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Типы применяемых в РФ рабочих эталонов ЭОСИ:

а) пиргелиометр СНР1; б) актинометр М-3; в) актинометр СФ-12

Указанные типы имеют свои особенности конструкции, однако общий принцип конструкции для всех одинаков. Актинометр СФ-12 разработан на основе актинометра М-3 при совместной работе ГГО и ОАО «Пеленг». Оба

актинометра имеют одинаковый полный угол зрения – 10° и одинаковую конструкцию термобатареи. Основное различие заключается в наличии у СФ-12 кварцевого стекла перед приёмной апертурой.

Пиргелиометр СНР1 значительно длиннее и массивнее чем актинометры М-3 и СФ-12. Его полный угол зрения равен 5° . Так же как у СФ-12, перед его приёмной апертурой стоит кварцевое стекло. Термобатарея слегка отличается по конструкции от М-3 и СФ-12, но имеет сопоставимый уровень чувствительности. В корпусе СНР1 имеются платиновые термометры сопротивления, дающие информацию его температуре (по сути – о температуре теплостока).

Измерительный принцип у всех типов одинаковый. При воздействии прямого солнечного излучения на зачернённую термобатарею в ней возникает разность потенциалов, величина которой прямо пропорциональна интенсивности излучения. Значение прямой солнечной радиации определяется по измерениям напряжения с термобатареи по формулам:

$$S = \frac{U}{K}, \quad (3)$$

$$S = \frac{U}{K_{20} \cdot [1 - 0,0008 \cdot (t - 20)]}, \quad (4)$$

где S – величина прямой солнечной радиации; U – напряжение с термобатареи; K – коэффициент преобразования; K_{20} – коэффициент преобразования приведённый к температуре окружающего воздуха 20°C (для актинометров типа М-3); t – температура окружающего воздуха.

Формула (4) применяется только для актинометров типа М-3, так как его температурная зависимость его коэффициента преобразования известна [2, 5]:

$$K_t = K_{20} \cdot [1 - 0,0008 \cdot (t - 20)], \quad (5)$$

где K_t – коэффициент преобразования актинометра М-3 при температуре окружающего воздуха, равной t .

Напряжение с термобатареи обычно измеряется с помощью цифровых вольтметров, мультиметров или систем сбора данных. На сегодняшний день, в ГГО имеется автоматическая поверочная система [9], центральным звеном которой является логгер данных QML201 (Vaisala, Финляндия), регистрирующий сигнал с термобатареями поверяемых датчиков с точностью до 0,001 мВ и с погрешностью 0,1 %. Система управляется через специализированной ПО. Одновременно к системе можно подключить до 7 приборов.

1.3. Методы и средства поверки эталонных пиргелиометров и актинометров

В РФ с 2014 г. действует ГОСТ Р 8.807 по поверке эталонных средств измерений ЭОСИ [2], разработанный в ФГУП «ВНИИОФИ». До введения указанного ГОСТ для тех же целей действовали методические инструкции МИ 1989-89 [3], также разработанные во ВНИИОФИ совместно с ГГО. Таким образом, с 1989 г. стандартизация методов поверки эталонных средств измерений ЭОСИ осуществляется на государственном уровне, в то время как до этого она была только ведомственной (внутри Госкомгидромета). Примечательно, что формально МИ 1989-89 пока ещё не отменены никаким документом, а ГОСТ Р 8.807 введён не взамен МИ 1989-89, а впервые.

На сегодняшний день, ГОСТ Р 8.807 является единственным применяемым в практике поверки эталонов ЭОСИ нормативным документом. В ГОСТ достаточно подробно описаны требования к условиям проведения поверки, процедуры, выполняемые при поверке, обработка результатов поверки и условия положительных результатов поверки. ГОСТ применяется не только к эталонным пиргелиометрам и актинометрам, но и к эталонным головкам пиранометров, которые применяются в качестве эталонов при поверке рабочих пиранометров в лабораторных условиях. В рамках данной работы особенности поверки эталонных головок пиранометров рассматриваться не будут. Также в связи с тем, что на текущий момент компенсационные пиргелиометры

Ангстрема в РФ не применяются, а пиргелиометры М-59 применяются исключительно в ГГО в составе вторичного эталона, процедуры поверки указанных пиргелиометров в качестве эталонов 1-го разряда, описанные в ГОСТ, в рамках данной работы рассмотрены не будут. Стоит отметить, что в ГОСТ не упоминаются пиргелиометры с термобатареей, однако всё описанное для актинометров 1-го и 2-го разрядов применимо и для них.

Ниже приведено подробное описание условий, процедур и критериев пригодности при поверке в соответствии с ГОСТ Р 8.807 (раздел 4) эталонных актинометров и пиргелиометров с термобатареей. Для упрощения изложения далее по тексту под рабочими эталонами ЭОСИ будут пониматься именно эталонные актинометры и пиргелиометры с термобатареей.

1.3.1. Условия поверки

Поверка рабочих эталонов ЭОСИ проводится методом *непосредственного сличения* в естественных условиях по солнечному излучению.

Под непосредственным сличением понимают установление соотношения между результатами измерений эталонами единицы величины, проводя при этом измерения каждым из эталонов непосредственно, т.е. без участия какого-либо компаратора. В случае с эталонами ЭОСИ, метод непосредственного сличения заключается в том, что поверяемые и эталонные средства измерений *совместно и одновременно* измеряют прямую солнечную радиацию, истинная величина которой в фиксированный момент времени будет одинакова для таких средств измерений.

Требования к условиям поверки, указанные в ГОСТ Р 8.807 охватывают несколько параметров. Наиболее важными являются требования к факторам, влияющим на прямую солнечную радиацию:

- солнечное излучение при поверке должно быть устойчивым;
- не должно быть следов облаков на диске Солнца и в пределах 5° от его центра в любом направлении;

- высота Солнца над горизонтом при поверке должна быть не менее 15°;
- не должно быть пыли, дыма, тумана или дымки.

Устойчивость солнечного излучения в данном случае понимается с учётом его нормальной изменчивости в течение суток (с максимумом в полдень).

Требование к отсутствию следов облаков в пределах 5° от центра Солнца связано с тем, что наличие облачности в такой близости от солнечного диска приводит к увеличению так называемой околосолнечной рассеянной радиации, что в свою очередь отражается на разности показаний эталонов ЭОСИ с разными апертурными углами. Соблюдение этого условия в процессе поверки контролируется визуально (5° – это приблизительно ширина ладони вытянутой руки) специалистами, проводящими поверку. На практике при переменной облачности, измерения не останавливаются, а лишь помечаются те измерения, при которых не соблюдалось это условие, чтобы не учитывать их в дальнейшем расчёте.

Полный список требований к условиям поверки эталонов ЭОСИ по ГОСТ Р 8.807 (п. 4.5.1) приведён в таблице 1.

Таблица 1 – Условия поверки эталонных актинометров и пиргелиометров с термобатарей

Условие	Требуемое значение
Высота солнца над горизонтом	не менее 15°
Отсутствие следов облаков на диске Солнца и в пределах 5° от его центра в любом направлении	-
Отсутствие пыли, дыма, тумана или дымки	-
Скорость ветра	не более 4 м/с
Температура окружающего воздуха	от 10 °С до 35 °С
Атмосферное давление	от 700 до 1050 гПа
Относительная влажность	не более 80 %
Напряжение сети переменного тока	(220 ± 22) В
Частота сети переменного тока	(50 ± 0,5) Гц

1.3.2. Процедуры, выполняемые для определения метрологических характеристик эталонных актинометров и пиргелиометров с термобатарей

Как и во многих методиках поверки, процедуры, выполняемые для определения метрологических характеристик, делятся на 2 этапа: выполнение измерений и обработка результатов измерений.

1.3.2.1. Выполнение измерений

Уже было отмечено выше, что при поверке рабочих эталонов ЭОСИ необходимо выполнять измерения прямой солнечной радиации *совместно и синхронно* с пиргелиометрами из состава вторичного эталона.

В ГОСТ регламентируется объединять измерения по сериям и выполнять 10 измерений в одной серии (п. 4.6.3.1, в). Интервалы времени между измерениями не регламентируются, но на практике измерения проводят с интервалами до 1,5 минуты. Всего необходимо выполнить не менее 10 серий и, что важно, в разные дни (п. 4.6.3.1, д). Количество дней измерений не регламентируется, но на практике серии измерений распределяют по трём дням и более. Совокупность измерений с разных дней содержит в себе больше влияния разных случайных факторов, чем за один день. Тем самым увеличивается достоверность итоговых результатов.

Измерения прямой солнечной радиации пиргелиометрами из состава вторичного эталона выполняются через вспомогательные системы, описанные ранее в разделе 1.1 настоящей работы.

Для поверяемых эталонов ЭОСИ измеряется сигнал в мВ с их термобатарей с помощью вольтметров или систем сбора данных. По ГОСТ Р 8.807, погрешность измерения напряжения постоянного тока такими вольтметрами и системами должна быть не более 0,01 мВ (п. 4.2).

При поверке эталонных актинометров типа М-3 во время измерений также необходимо дополнительно измерять температуру воздуха вокруг актинометра для учёта его температурной зависимости.

По регламенту ГОСТ Р 8.807 термометр помещают вблизи от актинометра и затеняют от прямых солнечных лучей (п. 4.5.2, д). Температуру измеряют перед началом серии измерений.

В практике ФГБУ «ГГО» до недавнего времени значение температуры измерялось ртутным термометром (ГОСТ 2045-43). На сегодняшний день, измерения температуры для учёта температурной зависимости актинометров типа М-3 производятся через вышеупомянутую в разделе 1.2 данной работы автоматическую поверочную систему [9]. Она позволяет записывать значение температуры воздуха синхронно с каждым измерением эталонами с точностью до 0,1°C. Температура измеряется датчиком температуры и влажности HMP45D (Vaisala, Финляндия), установленным в штатной радиационной защите в непосредственной близости от поверяемых рабочих эталонов ЭОСИ.

1.3.2.2. Обработка результатов измерений

Для каждой серии по 10 измерениям пиргелиометром из состава вторичного эталона рассчитывается среднее за серию значение прямой солнечной радиации. А для поверяемых рабочих эталонов ЭОСИ по 10 измерениям рассчитывается средняя за серию величина сигнала (в мВ) с термобатарей.

Далее, для каждой серии вычисляется коэффициент преобразования (K , мВ/(кВт·м⁻²)) рабочего эталона ЭОСИ по формуле:

$$K = \frac{\bar{U}}{\bar{S}}, \quad (5)$$

где $\bar{U}$ – средняя за серию величина сигнала с термобатарей рабочего эталона ЭОСИ, мВ; $\bar{S}$ – среднее за серию значение прямой солнечной радиации, кВт/м².

Если рабочим эталоном ЭОСИ является актинометр типа М-3, то для каждой серии вычисляется его коэффициент преобразования, приведённый к температуре 20°C (K_{20} , мВ/(кВт·м⁻²)) по формуле:

$$K_{20} = \frac{1}{1 - 0,0008 \cdot (t - 20)} \cdot \frac{\bar{U}}{\bar{S}}, \quad (6)$$

где t – это средняя за серию температура воздуха вокруг актинометра.

После того как рассчитан коэффициент преобразования для каждой серии измерений, вычисляют среднее по всем сериям значение коэффициента преобразования и случайную погрешность результата его определения (S_0 , %) по формуле:

$$S_0 = \frac{1}{\bar{K}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \rho^2}{m(m-1)}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где $\bar{K}$ – это среднее значение коэффициента преобразования за все серии измерений ($\bar{K}_{20}$, если поверяется актинометр типа М-3); $\sum_{i=1}^m \rho^2$ – это сумма квадратов отклонений отдельных значений коэффициента преобразования, полученных по каждой серии; m – число серий.

Таким образом, результаты поверки рабочего эталона ЭОСИ сопровождаются двумя итоговыми значениями:

1. коэффициент преобразования (приведённый к температуре 20°C, если поверяется актинометр типа М-3);
2. случайная погрешность результата определения коэффициента преобразования.

1.3.3. Критерии пригодности

После обработки измерений следует заключительный этап поверки – оценка определённых метрологических характеристик на соответствие предъявляемым к ним требованиям.

В ГОСТ Р 8.807 критерии пригодности для актинометров и пиргелиометров с термобатареей различаются по разряду поверяемого эталона.

В таблице 2 приведены критерии пригодности для двух разрядов поверяемых эталонов ЭОСИ.

Таблица 2 – Критерии пригодности для разных разрядов поверяемых эталонов ЭОСИ

Разряд по ГПС	Случайная погрешность результата определения коэффициента преобразования S_0 , %	Предел допускаемой погрешности измерения эталоном Δ , %
1 разряд	$\leq 0,2$	1,3
2 разряд	$\leq 0,3$	1,7

Как видно из таблицы 2, критерии пригодности применяются только для случайной погрешности результата определения коэффициента преобразования S_0 . По ним делается вывод: пригоден ли эталон ЭОСИ для применения в качестве 1-го или 2-го разряда, или не пригоден для применения в качестве эталона вовсе. Также, в таблице 2 приведены пределы допускаемой погрешности измерения эталоном Δ , %. Они утверждены в ГПС и для удобства приведены и в методике поверки ГОСТ Р 8.807 (п.4.6.3.3).

ГЛАВА 2. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ ЭТАЛОННЫХ ПИРГЕЛИОМЕТРОВ И АКТИНОМЕТРОВ

Единственно применяемая на практике в Росгидромете методика поверки эталонных актинометров и пиргелиометров с термобатареей ГОСТ Р 8.807 была введена в действие в 2014 году. С тех пор вторичный эталон единицы энергетической освещённости претерпел изменения в своём составе. В этой связи, и по некоторым другим факторам, приведённым ниже, представляется целесообразным рассмотрение вопроса об обновлении существующей методики поверки и внесении в неё изменений, отражающих потребности современной реальности.

2.1. Недостатки существующей методики поверки

Отметим здесь отдельно, что нижеприведённые недостатки существующей и до сих пор применяемой методики поверки являются именно *недостатками* исключительно в связи с новыми возможностями и изменениями состояния актуальной реальности. Эти недостатки совсем не отменяют пригодности существующей методики поверки и лишь указывают на возможности её усовершенствования.

Осреднение

В ГОСТ 8.807 в неявном виде предусмотрено, что вторичный эталон энергетической освещённости состоит только из компенсационных пиргелиометров Ангстрема и М-59. На текущий момент, как уже было упомянуто в главе 1, основным пиргелиометром в эталонной группе вторичного эталона является РМО6. Из-за существенных отличий в принципах измерений РМО6 и пиргелиометрами Ангстрема или М-59 возникает первый недостаток существующей методики поверки – *осреднение эталонных измерений прямой солнечной радиации за всю серию измерений и расчёт коэффициента преобразования для эталона ЭОСИ на основе среднего за серию*

значения эталонной прямой солнечной радиации и напряжения с его термобатареи.

Для пиргелиометров Ангстрема и М-59 осреднение – это необходимая часть обработки измеренных данных, ввиду особенности их измерительного принципа, описанного выше в главе 1 настоящей работы. Отдельное измерение в фиксированный момент времени (по одной из полосок) такими пиргелиометрами использовать нельзя, так как оно имеет в себе неизвестную систематическую погрешность.

Измерения прямой солнечной радиации с помощью РМО6 организованы таким образом, что не требуют последующих осреднений, чтобы сравнивать его с другими приборами. В фиксированный момент времени от РМО6 мы имеем измерение прямой солнечной радиации, полученное с точностью, которая равна точности измерений РМО6.

Причина, по которой осреднение эталонных измерений прямой солнечной радиации за серию является недостатком методики поверки (при применении пиргелиометров типа РМО6 в качестве эталона) заключается в том, что *теряется информация о случайной погрешности* поверяемого рабочего эталона ЭОСИ. Такая информация крайне важна для определения его актуальных характеристик точности.

К примеру, рассмотрим конкретную измерительную серию от 10 сентября 2023 г (таблица 3).

Таблица 3 – Серия измерений от 10.09.2023 г. при поверке эталонного актинометра М-3 зав.№ 39 с помощью пиргелиометра РМО6.

Время измерения	РМО6×0.999957, Вт/м ²	U _{М-3} , мВ	М-3 № 39, Вт/м ²	δ, %
12:35:00	986.82	10.052	992.10	+0.54
12:36:30	989.47	10.076	994.50	+0.51
12:38:00	985.80	10.060	992.90	+0.72
12:39:30	984.76	10.044	991.40	+0.67
12:41:00	986.37	10.061	993.00	+0.67
12:42:30	986.40	10.058	992.70	+0.64
12:44:00	989.49	10.090	995.90	+0.65
12:45:30	988.34	10.083	995.20	+0.69
12:47:00	987.98	10.074	994.30	+0.64
12:48:30	985.38	10.022	989.20	+0.39
12:50:00	982.52	10.008	987.80	+0.54
12:51:30	983.76	10.038	990.80	+0.72
12:53:00	985.13	10.045	991.40	+0.64
12:54:30	982.83	10.010	988.00	+0.53

Поясним значения, приведённые в таблице 3. Во втором столбце приведены значения прямой солнечной радиации, измеренные с помощью РМО6 из состава вторичного эталона и приведённые к показаниям МРЭ через коэффициент WRR равный 0.999957. В третьем столбце приведены значения сигнала с термобатареи поверяемого эталонного актинометра в милливольтках (U_{М-3}, мВ). В четвёртом столбце приведены рассчитанные для поверяемого эталонного актинометра значения прямой солнечной радиации по значениям третьего столбца с помощью формулы (4), применяя известное значение коэффициента преобразования (10,10 мВ/кВт·м⁻²), определённое при предыдущей поверке, и среднюю за серию температуру воздуха (16,1 °С). В пятом столбце приведена относительная погрешность (δ, %) прямой солнечной радиации измеренной с помощью актинометра, рассчитанная по формуле:

$$\delta = \frac{S_{М-3} - S_{РМО6}}{S_{РМО6}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где $S_{РМО6}$ – прямая солнечная радиация по РМО6 из второго столбца, а $S_{М3}$ – это прямая солнечная радиация по актинометру М-3 из четвёртого столбца.

Для наглядности, по значениям из таблицы 3 построим график значений S_{PMO6} и S_{M3} в течение измерительной серии, а также график значений δ (рисунок 13).

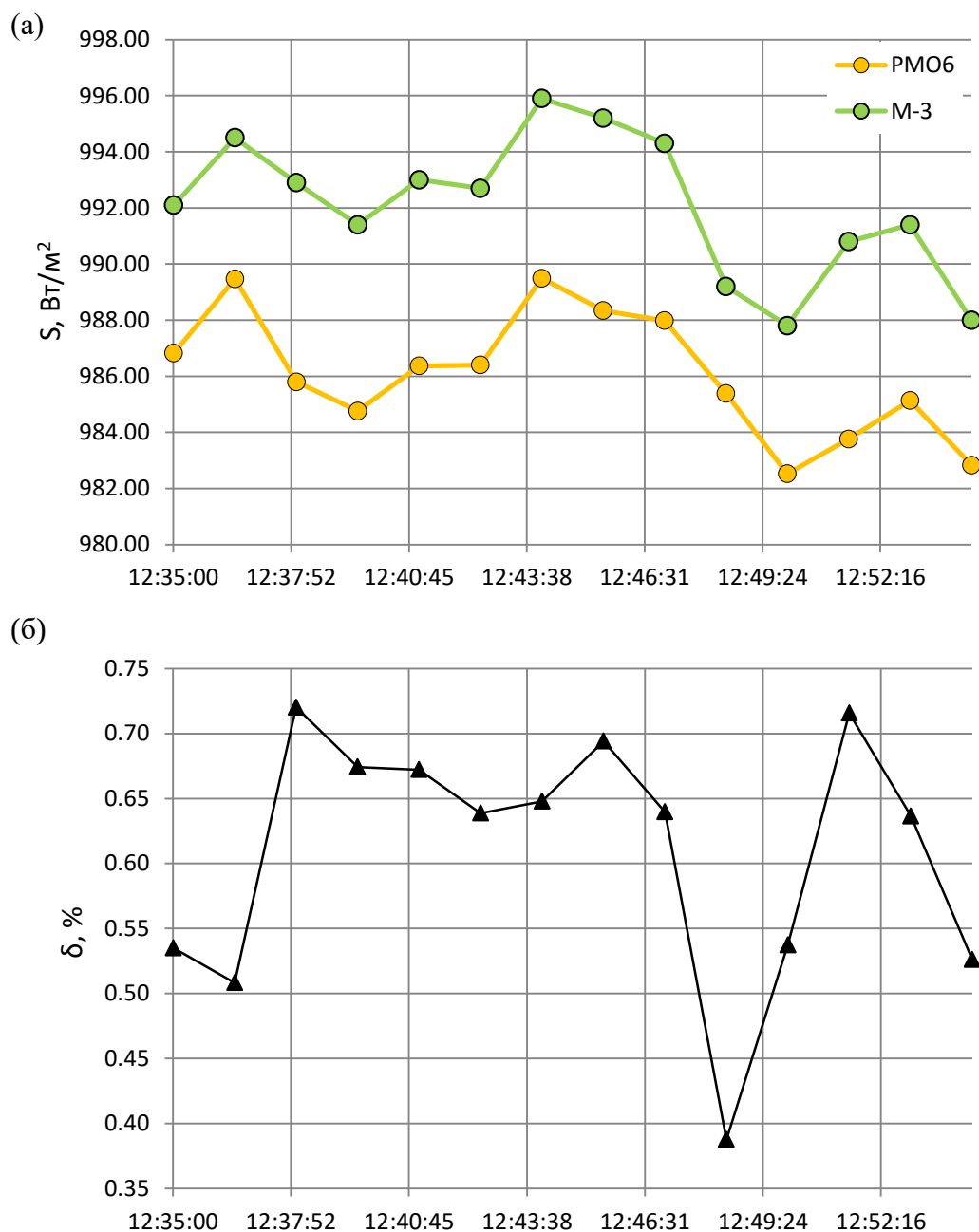


Рисунок 13 – (а): значения прямой солнечной радиации по РМО6 и по поверяемому эталонному актинометру в течение измерительной серии; (б): значения относительной погрешности измерений прямой солнечной радиации поверяемым актинометром.

Ход прямой солнечной радиации, представленный на рисунке 13 (а) довольно типичный для измерительных серий. Гораздо реже он бывает монотонно возрастающим или убывающим (при низких значениях мутности атмосферы и безветренной погоде). Также, на рисунке 13 можно заметить систематическую погрешность значений прямой солнечной радиации, измеренных поверяемым актинометром, которая вызвана использованием предыдущего коэффициента преобразования при расчёте значений прямой солнечной радиации и устраняется при расчёте нового коэффициента преобразования по эталонным значениям прямой солнечной радиации.

Из графика на рисунке 13 (б) видно, что для каждого совместного измерения, относительная погрешность измерений прямой солнечной радиации поверяемым актинометром различна в силу совокупности случайных факторов.

Как известно, данные о разбросе измеренных значений физической величины средством измерений относительно истинного значения этой физической величины являются крайне важными для оценки характеристик точности этого средства измерений. Однако, по ГОСТ Р 8.807 S_{PMO6} и U_{M-3} усредняются за всю серию измерений для расчёта K_{20} за данную серию измерений, по формуле (13). И данные о реальном разбросе измерений поверяемым актинометром относительно измерений эталонным пиргелиометром не используются для итогового расчёта K_{20} поверяемого актинометра за все измерительные серии, а учитывается только разброс значений K_{20} по каждой серии относительно среднего по формуле (7).

Таким образом, итоговый расчёт коэффициента преобразования поверяемого эталона ЭОСИ получается *грубее*, чем мог бы быть, *при тех же исходных данных*.

Приведённый выше пример наглядно демонстрирует первый недостаток расчётной части существующей методики поверки, при использовании в качестве эталона пиргелиометра типа РМО6.

Соответствие рекомендациям ВМО

В разделе 1.2 настоящей работы уже было упомянуто про требования, предъявляемые к эталонам Национальных Радиационных Центров (НРЦ), которыми являются поверочные лаборатории центров средств измерений УГМС, хранящие и применяющие рабочие эталоны ЭОСИ, и проводящие поверку рабочих средств измерений ЭОСИ. Отметим здесь основной пункт этого требования, касающийся погрешности рабочих эталонов ЭОСИ, перефразировав его в соответствии с принятой в России метрологической терминологией:

- погрешность рабочих эталонов энергетической освещённости солнечным излучением должна быть менее $4 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ (с доверительной вероятностью 95 %);

Для проверки данного требования, должна быть оценена абсолютная погрешность относительно эталона регионального радиационного центра (РРЦ), коим является вторичный эталон ЭОСИ, хранимый и применяемый в ГГО. Достоверную оценку абсолютной погрешности рабочего эталона можно провести, только сформировав достаточно большую выборку совместных измерений с пиргелиометром из состава вторичного эталона при условиях удовлетворяющих описанным выше в п. 1.3.1 настоящей работы.

В ГОСТ Р 8.807 вышеописанной обработки для оценки абсолютной погрешности не предусмотрено, и, соответственно, поверка рабочих эталонов ЭОСИ выполняется без анализа на соответствие требованиям ВМО к эталонам НРЦ. А так как именно НРЦ с помощью своих рабочих эталонов ЭОСИ должны выполнять поверку рабочих средств измерений, установленных на актинометрической сети Росгидромета, то на данный момент соответствие метрологического обеспечения приземных измерений солнечной радиации требованиям ВМО контролируется не полностью. Соблюдение таких требований крайне важно для обеспечения сопоставимости данных измерений

солнечной радиации на территории РФ с такими же данными на территориях других стран-членов ВМО.

Таким образом, отсутствие расчёта характеристики, к которой предъявляются требования ВМО, в применяемой методике поверки рабочих эталонов ЭОСИ, является вторым её недостатком.

2.2. Описание процедур поверки, закрывающих существующие недостатки

Для каждого из двух описанных выше недостатков применяемой методики поверки эталонов ЭОСИ распишем ниже предложения к её изменению, которые будут закрывать приведённые недостатки.

2.2.1. Изменение порядка расчёта коэффициента преобразования.

В разделе 2.1 было отмечено, что при осреднении за серию значений эталонной прямой солнечной радиации и значений напряжения с термобатареи поверяемого рабочего эталона ЭОСИ теряется и не используется значительная часть информации о случайной погрешности последнего. Чтобы эта информация была использована, необходимо каким-то образом проводить обработку выборки, которая включает в себя влияния каждого совместного измерения.

В связи с тем, что одной из главных целей поверки рабочего эталона ЭОСИ является определение его актуального коэффициента преобразования, то наиболее эффективным видится использовать для итоговой обработки *выборку коэффициентов преобразования, рассчитанных для каждого совместного измерения.*

При этом порядок действий обработки измерений будет следующим:

1. Анализ измерений на соответствие требований к условиям поверки, описанным в п. 1.3.1. Отбрасывание измерений выполненных в несоответствующих условиях.

2. Расчёт коэффициента преобразования для каждого совместного измерения по формуле (5) или (6) в зависимости от типа поверяемого рабочего эталона ЭОСИ. При расчёте K_{20} используется среднее за серию значение температуры.
3. Формирование единой за все серии и все дни выборки значений коэффициентов преобразования для каждого совместного измерения и определение среднего значения коэффициента преобразования и его СКО.

Порядок операций поверки, приведённый в разделе 1.3.2.1 настоящей работы, изменять нет необходимости, за исключением того, что в одной серии стоит допустить делать больше десяти измерений. Ограничение в 10 измерений в одной серии вероятнее всего необходимо для дальнейшей обработки по ГОСТ Р 8.807, чтобы исключить влияние естественного хода прямой солнечной радиации в течение измерительной серии на результат осреднения. Если осреднение не выполнять и использовать каждое совместное измерение при обработке, как описано выше, то ограничение на величину серии можно не накладывать и оставить выбор величины серии за поверителем.

Проверка соответствия распределения полученной выборки нормальному распределению, которая обязательно проводится при обработке результатов международных сравнений пиргелиометров [11], в данном случае видится нецелесообразной ввиду того, что это неоправданно усложнит процесс обработки измерений. Поверка рабочих эталонов ЭОСИ – это процесс уровнем ниже, чем сличение вторичных эталонов с МРЭ, и сами рабочие эталоны ЭОСИ – это средства измерений гораздо грубее пиргелиометров, сличаемых с МРЭ. К тому же, для коэффициента преобразования рабочих эталонов ЭОСИ предполагается его постоянство при различных уровнях прямой солнечной радиации, которое должно быть подтверждено исследованиями при проведении испытаний в целях утверждения типа этих средств измерений или при выпуске с производства. Соответственно, распределение выборки значений коэффициентов преобразования для каждого совместного измерения, при

соблюдении условий поверки, описанных в п.1.3.1 настоящей работы, должно быть обусловлено только совокупностью случайных факторов и является нормальным. По этим причинам, и в связи с тем, что объём выборки обычно является достаточно большим (минимум 100 значений, чаще всего от 200 до 300) статистические оценки параметров генеральной совокупности (среднее и СКО) по выборке предполагаются достаточно достоверными.

2.2.2. Дополнительный расчёт абсолютной погрешности

В разделе 2.1 был отмечен второй недостаток применяемой методики поверки: отсутствие расчёта абсолютной погрешности поверяемого рабочего эталона ЭОСИ, к которой предъявляются требования руководства ВМО [8].

Данной работой предлагается дополнение существующей методики поверки соответствующими расчётами абсолютной погрешности. Данный расчёт должен производиться после расчёта коэффициента преобразования, описанного в предыдущем пункте и с использованием полученного значения коэффициента преобразования. Это связано с тем, что используя актуальный коэффициент преобразования, и производя расчёт абсолютной погрешности по тем же данным, мы будем анализировать исключительно случайную составляющую погрешности, исключив её систематическую составляющую (она появляется вследствие дрейфа коэффициента преобразования в течение срока эксплуатации эталона ЭОСИ).

Таким образом, порядок действий для оценки абсолютной погрешности предлагается следующим:

1. Как и в предыдущем пункте, используются только те совместные измерения, при которых были соблюдены требования условий поверки.
2. Расчёт значений прямой солнечной радиации по значениям напряжения с термобатареи поверяемого эталона ЭОСИ, используя определённый в предыдущем пункте настоящей работы коэффициент преобразования, для каждого совместного измерения по формуле (3)

или (4). При расчёте значений измеряемых актинометром М-3 используется среднее за серию значение температуры.

3. Расчёт абсолютной погрешности измерений для каждого совместного измерения по формуле:

$$\Delta = S_i - S_{\text{эт}}, \quad (9)$$

где S_i – значение прямой солнечной радиации по поверяемому эталону ЭОСИ (Вт/м^2), $S_{\text{эт}}$ – по пиргелиометру из состава вторичного эталона (Вт/м^2).

4. Формирование единой за все серии и все дни выборки значений абсолютной погрешности и оценка среднего значения и границ интервала доверительной вероятности 95%.

Проверка сформированной выборки на соответствие нормальному распределению не производится по соображениям, аналогичным описанным в п. 2.2.1.

2.2.3. Итоговые изменения и дополнения в применяемую методику поверки

Сведём всё предложенное в п. 2.2.1 и 2.2.2 в единый порядок действий:

1. Анализ измерений на соответствие требований к условиям поверки, описанным в п. 1.3.1. Отбрасывание измерений выполненных в несоответствующих условиях.
2. Расчёт коэффициента преобразования для каждого совместного измерения по формуле (5) или (6) в зависимости от типа поверяемого рабочего эталона ЭОСИ. При расчёте K_{20} используется среднее за серию значение температуры.
3. Формирование единой за все серии и все дни выборки значений коэффициентов преобразования для каждого совместного измерения и

определение среднего значения коэффициента преобразования и его СКО.

4. Расчёт значений прямой солнечной радиации по значениям напряжения с термобатареи поверяемого эталона ЭОСИ, используя определённый в предыдущем пункте коэффициент преобразования, для каждого совместного измерения по формуле (3) или (4). При расчёте значений измеряемых актинометром М-3 используется среднее за серию значение температуры.
5. Расчёт абсолютной погрешности измерений для каждого совместного измерения по формуле (9).
6. Формирование единой за все серии и все дни выборки значений абсолютной погрешности и оценка среднего значения и границ интервала доверительной вероятности 95%.

Таким образом, порядок действий, описанный выше, предлагается к изменению и дополнению порядка действий изложенного в ГОСТ Р 8.807. В первом приближении, данный порядок действий должен заменять пункты 4.6.3.1 е) – 4.6.3.2.

Далее в работе выполнена апробация вышеприведённых изменений в действующую методику поверки и сравнительный анализ результатов обработки измерений по действующей методике и по предлагаемым изменениям.

ГЛАВА 3. СОЗДАНИЕ И ОБРАБОТКА АРХИВОВ ДАННЫХ ДЛЯ АПРОБАЦИИ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ

3.1. Описание подготовки опорного архива данных измерений при поверке эталонных пиргелиометров и актинометров в Кисловодске в 2023 году

Для апробации изменений в методику поверки было решено взять данные измерений при поверке рабочих эталонов ЭОСИ в сентябре 2023 г, которая проводилась на специально оборудованной площадке рядом с метеостанцией в г. Кисловодск. Подобная поверка проводится в Кисловодске ежегодно с 1994 года, а до этого долгое время проводилась рядом с метеостанцией Карадаг в Крыму. Выбор данных именно за 2023 год обусловлен двумя факторами: а) в этот год поверялся каждый из трёх поверяемых в РФ (на текущий момент) типов рабочих эталонов ЭОСИ; б) в 2023 году было большое количество измерений в разные дни для каждого типа СИ. Таким образом, рабочие эталоны ЭОСИ, отобранные для апробации изменений в методику поверки приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Рабочие эталоны ЭОСИ, отобранные для апробации изменений в действующую методику поверки

Тип СИ, производитель	Зав. №
Актинометр М-3 СССР, зав. «Гидрометприбор», г. Тбилиси	87
Актинометр М-3 СССР, зав. «Гидрометприбор», г. Тбилиси	133
Пиргелиометр СНР1 «Kipp&Zonen», Нидерланды	100314
Пиргелиометр СНР1 «Kipp&Zonen», Нидерланды	100319
Актинометр СФ-12 ОАО «Пеленг», Республика Беларусь	26265001

Все перечисленные в таблице 4 рабочие эталоны ЭОСИ были подключены к автоматической поверочной системе, и измерения напряжения с их термобатарей измерялись одновременно с измерениями пиргелиометром РМО6, которые регистрировались отдельно его собственной измерительной системой. Совместные измерения выполнялись непрерывно в течение рабочего

дня (начинались в 10:00 – 10:30 и заканчивались не позднее 15:00), а интервал между измерениями был 90 секунд. В общей сложности для каждого из эталонов было получено 584 совместных с РМО6 измерения за 4 дня. Условия при поверке приведены в таблице 5. Значения относительной влажности и давления были взяты с датчиков метеостанции Кисловодск. Высота солнца рассчитывалась отдельно согласно РД 52.04.562-96 [5]. Все приведённые условия соответствуют требованиям ГОСТ Р 8.807.

Таблица 5 - Условия поверки

День	Параметры			
	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Атмосферное давление, гПа.	Высота Солнца над горизонтом, °
11 сентября	15,0 – 22,2	46 – 57	909	42,7 – 50,9
15 сентября	19,8 – 23,3	31 – 47	913	40,9 – 49,3
20 сентября	18,6 – 22,2	53 – 61	912	36,5 – 47,4
22 сентября	18,8 – 22,6	58 – 60	915	42,0 – 46,6

Измерения по каждому из эталонов записывались автоматической поверочной системой в файл формата .txt. Пример структуры файла приведён на рисунке 14.

Пример на рисунке 14 взят из файла для актинометра М-3 № 87. Первые два столбца заполнены датой и временем измерений. В четвёртом столбце записана температура с датчика температуры и влажности из состава системы. В последнем столбце записано напряжение с термобатареи актинометра М-3 № 87. Третий и пятый столбцы предназначены для других возможностей автоматической системы.

дата	время	серия	Temp	Ch0_	Ch6_M3-87
11.09.2023	10:05:00	001	15.000	999.000	7.776
11.09.2023	10:06:30	001	15.200	999.000	7.780
11.09.2023	10:08:00	001	15.400	999.000	7.763
11.09.2023	10:09:30	001	15.500	999.000	7.765
11.09.2023	10:11:00	001	15.800	999.000	7.781
11.09.2023	10:12:30	001	15.700	999.000	7.781
11.09.2023	10:14:00	001	15.600	999.000	7.786
11.09.2023	10:15:30	001	15.900	999.000	7.783
11.09.2023	10:17:00	001	16.100	999.000	7.769
11.09.2023	10:18:30	001	15.700	999.000	7.776
11.09.2023	10:20:00	001	15.400	999.000	7.771
11.09.2023	10:21:30	001	15.500	999.000	7.768
11.09.2023	10:23:00	001	15.800	999.000	7.795
11.09.2023	10:24:30	001	16.100	999.000	7.784
11.09.2023	10:26:00	001	16.000	999.000	0.011
11.09.2023	10:27:30	001	15.700	999.000	0.003
11.09.2023	10:29:00	001	15.800	999.000	-0.003
11.09.2023	10:30:30	001	16.000	999.000	-0.004
11.09.2023	10:32:00	001	16.100	999.000	-0.001
11.09.2023	10:33:30	001	16.200	999.000	7.823
11.09.2023	10:35:00	001	16.100	999.000	7.833
11.09.2023	10:36:30	001	16.400	999.000	7.835
11.09.2023	10:38:00	001	16.600	999.000	7.855

Рисунок 14 – Пример структуры файла, формируемого автоматической поверочной системой

Далее, эти файлы переводились в формат «.xlsx» и дополнялись соответствующими значениями прямой солнечной радиации измеренной РМО6 и приведённой к показаниям МРЭ через умножение на WRR-фактор (0,999957). После этого в файле были и исключены из дальнейшей обработки те совместные измерения, при которых не соблюдались условия поверки. В основном это моменты нарушений условий поверки в отношении облачности при измерениях, фиксировавшиеся вручную. Затем, для дальнейшей обработки все измерения были сгруппированы в серии по 10 измерений. Решено было группировать измерения таким образом, что серия начиналась либо ближе к целому часу, либо к середине часа, несмотря на то, что измерения выполнялись непрерывно. Такое решение связано с тем, что часть измерений между целым часом и серединой часа проводилась при затенении рабочих эталонов ЭОСИ для других совместных исследований.

Таким образом, для каждого из пяти эталонов за 4 дня было сформировано 23 серии по 10 измерений. Пример структуры .xlsx-файла с измерениями, подготовленный для обработки приведён на рисунке 15.

	A	B	C	D	E
1	дата	время	темп	U, мВ	S_{WRR} , Вт/м ²
2	11.09.2023	10:05:00	15.0	6.259	936.75
3	11.09.2023	10:06:30	15.2	6.261	937.50
4	11.09.2023	10:08:00	15.4	6.250	935.08
5	11.09.2023	10:09:30	15.5	6.251	937.03
6	11.09.2023	10:11:00	15.8	6.261	937.91
7	11.09.2023	10:12:30	15.7	6.265	938.19
8	11.09.2023	10:14:00	15.6	6.263	937.92
9	11.09.2023	10:15:30	15.9	6.271	939.20
10	11.09.2023	10:17:00	16.1	6.252	937.14
11	11.09.2023	10:18:30	15.7	6.264	937.65
12	11.09.2023	10:35:00	16.1	6.306	945.18
13	11.09.2023	10:36:30	16.4	6.305	944.98
14	11.09.2023	10:38:00	16.6	6.322	947.41
15	11.09.2023	10:39:30	16.5	6.316	946.78
16	11.09.2023	10:41:00	16.4	6.314	946.37
17	11.09.2023	10:42:30	16.5	6.306	945.07
18	11.09.2023	10:44:00	16.6	6.321	947.95
19	11.09.2023	10:45:30	16.5	6.329	948.63
20	11.09.2023	10:47:00	16.5	6.345	950.96
21	11.09.2023	10:48:30	16.5	6.347	951.26
22	15.09.2023	10:00:00	20.1	5.860	878.38
23	15.09.2023	10:01:30	20.4	5.867	878.84
24	15.09.2023	10:03:00	20.2	5.876	879.98
25	15.09.2023	10:04:30	20.2	5.886	880.94
26	15.09.2023	10:06:00	19.9	5.896	882.71

Рисунок 15 - Пример структуры .xlsx-файла опорного архива измерений, подготовленного для дальнейшей обработки

Далее, файлы обрабатывались двумя путями: в соответствии с методикой поверки и в соответствии с предлагаемыми данной работой изменениями к ней. Этапы и результаты обработок изложены ниже.

Таблица с данными измерений из описанных выше файлов приведена в приложении 1.

3.2. Обработка опорного архива данных двумя методами

Обработка в соответствии с ГОСТ Р 8.807-2012

По каждой серии было вычислено среднее значение прямой солнечной радиации по РМО6, среднее значение напряжения с термобатареи и для актинометров М-3 среднее значение температуры за серию. Далее, используя эти средние значения, были рассчитаны коэффициенты преобразования для каждой серии по формуле (5) и для актинометров М-3 по формуле (6). После чего, было рассчитано значение случайной погрешности результата определения коэффициента преобразования (S_0 , %) по формуле (7).

Результаты обработки по каждому поверяемому рабочему эталону приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчётов метрологических характеристик поверяемых рабочих эталонов в соответствии с ГОСТ Р 8.812

Характеристика	М-3 №87	М-3 № 133	СФ-12 № 26265001	СНР1 № 100314	СНР1 № 100314
$K, \text{мВ}/(\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2})$	8.303	10.237	6.656	8.419	8.557
$S_0, \%$	0.038	0.027	0.041	0.023	0.025

Более подробная таблица с результатами расчёта по ГОСТ Р 8.807 для каждого из рассматриваемых в данной работе рабочих эталонов ЭОСИ приведена в приложении 2.

Обработка в соответствии с предложенными изменениями и дополнениями в действующую методику поверки

Обработка производилась в соответствии с порядком, изложенным выше в п. 2.2.3 настоящей работы.

Для каждого совместного измерения был рассчитан коэффициент преобразования по формуле (5) и по формуле (6) для актинометров М-3. При расчёте K_{20} для актинометров М-3 использовалась средняя за серию температура. По полученной совокупности значений коэффициента преобразования было рассчитано среднее его значение и его СКО по формуле:

$$CKO = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2}{n - 1}}, \quad (10)$$

где n – количество измерений, K_i – единичное значение коэффициента преобразования, $\bar{K}$ – среднее значение коэффициента преобразования.

Далее, используя полученное значение среднего коэффициента преобразования, была рассчитана прямая солнечная радиация измеряемая рабочим эталоном ЭОСИ по формуле (3) или (4) для актинометров М-3 (для них, также как и при расчёте K_{20} , температура использовалась средняя за серию). Затем были рассчитаны отклонения от показаний РМОб по формуле (9). По полученной совокупности значение было рассчитано среднее отклонение (ΔS), и границы доверительного интервала 95 % вероятности по распределению Стьюдента, используя формулу:

$$\Delta = t_{0,05, n} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (11)$$

где $t_{0,05, n}$ – коэффициент Стьюдента при уровне значимости 0,05 и объёме выборки – n . Для всех рабочих эталонов объём выборки был равен 230 измерениям, поэтому $t_{0,05, 230} = 1,97$.

Результаты обработки по каждому поверяемому рабочему эталону приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчётов метрологических характеристик поверяемых рабочих эталонов в соответствии с предлагаемыми изменениями и дополнениями

Характеристика	М-3 №87	М-3 № 133	СФ-12 № 26265001	СНР1 № 100314	СНР1 № 100319
$K, \text{мВ}/(\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2})$	8.303	10.237	6.656	8.419	8.557
$CKO, \text{мВ}/(\text{кВт} \cdot \text{м}^{-2})$	0.016	0.015	0.014	0.011	0.012
$\Delta S, \text{Вт}/\text{м}^2$	$0,00 \pm 0,23$	$-0,01 \pm 0,18$	$0,00 \pm 0,25$	$0,06 \pm 0,16$	$0,03 \pm 0,18$

Таблицы с расчётными данными по предлагаемым данной работой изменениям и дополнениям для каждого из рассматриваемых рабочих эталонов ЭОСИ приведены в приложении В.

3.3. Оценка и анализ полученных результатов

По результатам обработки измерений в соответствии с ГОСТ Р 8.807, представленным в таблице 6 видно, что все типы поверяемых рабочих эталонов ЭОСИ соответствуют уровню 1-го разряда, так как значения S_0 для каждого типа меньше, чем 0,2 % (таблица 2 в разделе 1.3.3).

Коэффициенты преобразования рабочих эталонов, рассчитанные по ГОСТ Р 8.807 и по предлагаемым изменениям, как и ожидалось, получились одинаковыми (таблица 6 и таблица 7). Это свидетельствует о том, что предлагаемые изменения способа обработки измерений не вносят какой-либо систематической погрешности в результаты.

Для сравнения значений оценок случайных погрешностей определения коэффициента преобразования по ГОСТ Р 8.807 и по предлагаемым изменениям необходимо выполнить некоторые преобразования. S_0 рассчитано по формуле (7) и соответственно выражено в процентах по отношению к коэффициенту преобразования. СКО рассчитывалось по формуле (10) и выражено в тех же единицах, что и коэффициент преобразования. Для возможности сопоставления значений оценок случайных погрешностей выразим S_0 в единицах коэффициента преобразования. В таблице 8 приведены рассчитанные значения S_0 , выраженные в единицах коэффициента преобразования, и значения СКО, рассчитанные по формуле (10). Также, для наглядности, на рисунке 16 приведём диаграмму значений из таблицы 8.

Таблица 8 – Сравнительные результаты расчёта значений S_0 (ГОСТ Р 8.807) и значений СКО (предлагаемые измерения) для каждого поверяемого эталона ЭОСИ; в третьей строке приведены значения отношения СКО к S_0

Характеристика	М-3 №87	М-3 № 133	СФ-12 № 26265001	СНР1 № 100314	СНР1 № 100319
S_0 , мВ/(кВт·м ⁻²)	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002
СКО, мВ/(кВт·м ⁻²)	0.016	0.015	0.014	0.011	0.012
СКО/ S_0	5,3	5	4,6	5,5	6

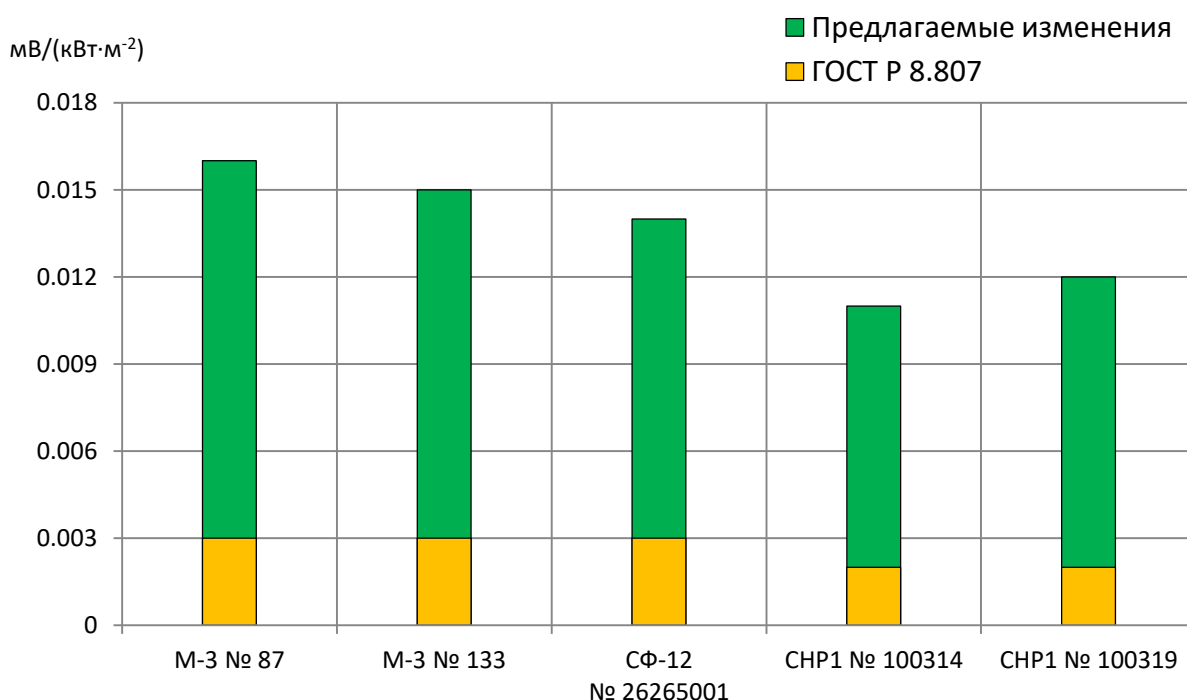


Рисунок 16 – Диаграмма результатов расчёта S_0 по ГОСТ Р 8.807 и СКО по предлагаемым изменениям

В среднем, значения СКО получились больше значений S_0 примерно в 5 раз. Этот результат свидетельствует о том, что обработка по предлагаемым данной работой изменениям сохраняет и выявляет гораздо больше информации о случайной погрешности исходных измерений, чем обработка по ГОСТ Р 8.807.

Также, из диаграммы на рисунке 16 видно, что для пиргелиометров СНР1 случайная погрешность, как по ГОСТ Р 8.807, так и по предлагаемым изменениям ниже, чем соответствующие значения для остальных эталонов.

Этот факт может объясняться тем, что конструктивно термобатареи пиргелиометров СНР1 исполнены более совершенно, чем у М-3 и СФ-12.

Значения абсолютных погрешностей рабочих эталонов с границами доверительных интервалов, приведённые в таблице 7, с большим запасом укладываются в требования ВМО, предъявляемые к эталонам НРЦ (4 Вт/м^2). На рисунке 17 построен график значений абсолютных погрешностей рабочих эталонов и границы их доверительных интервалов.

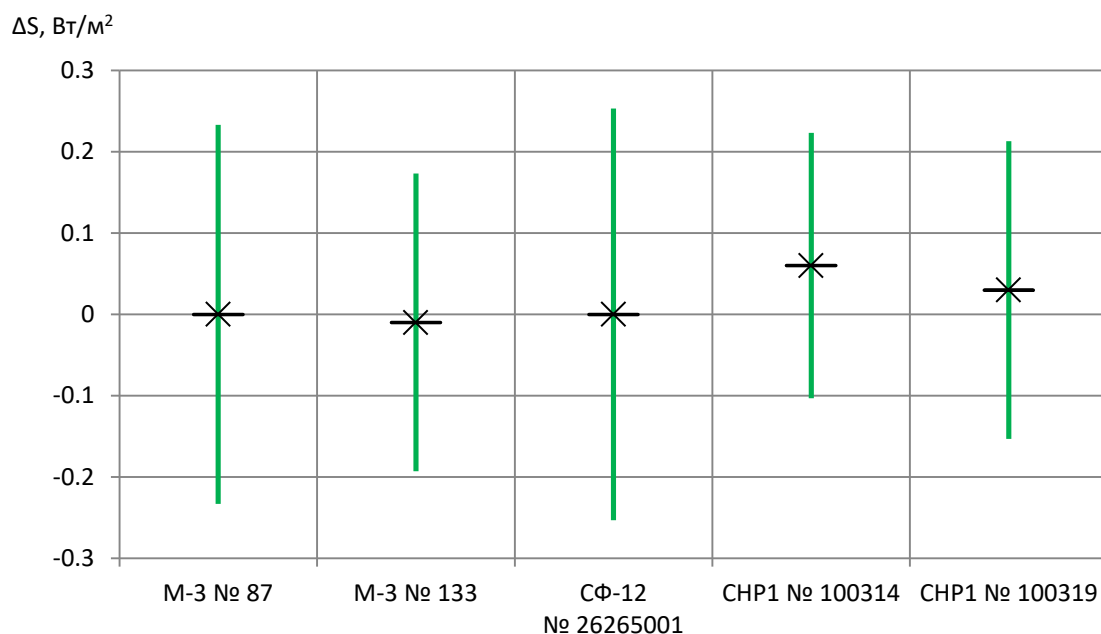


Рисунок 17 – Значения абсолютных погрешностей рабочих эталонов с границами доверительных интервалов.

Из графика на рисунке 17 видно, что пиргелиометры СНР1 имеют наибольшие среди остальных типов эталонов положительное отклонение, при том, что граница доверительного интервала для них уже, чем у остальных эталонов. Причины такого результата пока что не ясны и требуют дополнительных измерений с пиргелиометрами СНР1. Также, из графика на рисунке 17 видно, что наиболее «шумным» является актинометр СФ-12. Причиной этого может быть то, что в его показаниях не учитывается температурная зависимость коэффициента преобразования, а его термобатарея

сконструирована максимально приближенно к актинометру М-3, который имеет экспериментально определённую температурную зависимость.

Таким образом, по результатам анализа полученных результатов сравнения двух методов обработки измерений при поверке рабочих эталонов ЭОСИ (по ГОСТ Р 8.807 и по предлагаемым изменениям) можно сделать вывод, что предлагаемые изменения не вносят сдвига в результат расчёта коэффициента преобразования эталона и (как предполагалось) извлекают более достоверные сведения о случайно погрешности измерений рабочим эталоном. Вместе с этим, предлагаемый в дополнение к обработке расчёт абсолютной погрешности позволяет оценивать характеристики точности рабочих эталонов в соответствии с требованиями ВМО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе дан анализ применяемой методики поверки рабочих эталонов ЭОСИ на предмет несовершенства и возможностей её усовершенствования. Также, перед анализом методики поверки были изложены основные сведения о вторичном эталоне ГГО и о рабочих эталонах, об их конструктивных особенностях, измерительных принципах и порядке измерений ими.

В результате анализа выявлены два недостатка в части обработки результатов измерений: осреднение измерений внутри измерительных серий и отсутствие расчёта для оценки погрешности рабочего эталона по требованиям ВМО. Для устранения этих недостатков данной работой предложены изменения и дополнения в порядок обработки результатов измерений.

Для апробации изменений и дополнений в действующую методику поверки сформирован архив данных измерений при поверках рабочих эталонов по вторичному эталону. Для этого выбраны данные по пяти рабочим эталонам трёх типов, полученные при поверке этих эталонов во время ежегодных сличений эталонных актинометров, организуемых ГГО в г. Кисловодск. Результаты апробации показали, что предлагаемые изменения не вносят сдвига в результат расчёта коэффициента преобразования эталона (основной его характеристики) и извлекают более достоверные сведения о случайной погрешности измерений рабочим эталоном, а дополняющие методику расчёты позволяют оценить соответствие рабочего эталона требованиям ВМО.

Однако, предложенные изменения имеют недостатком тот факт, что для оценки пригодности эталона к применению, критерии пригодности, установленные в существующей методике необходимо пересматривать.

Для дальнейшего развития данной работы можно предложить следующие пункты:

1. Включение в методику поверки проведение подробного расчёта неопределённости измерения коэффициентов преобразования рабочих эталонов ЭОСИ. Такой расчёт должен проводиться в соответствии с международными стандартами об оценке неопределённости измерений.

2) Включение в методику поверки оценки дрейфа характеристик эталона в соответствии с требованиями ВМО к эталонам НРЦ [8, гл.7, прил. 7.С]. Такой анализ крайне важен для выявления слишком быстрой деградации характеристик эталона в межповерочный период.

Кроме этого, ГОСТ Р 8.807 как общий стандарт, включает в себя раздел о поверке эталонных пиранометров, который также нуждается в подробном анализе на предмет соответствия требованиям современной реальности.

Перечисленные выше предложения по дальнейшему развитию существующей методики поверки и её использование позволят получать результаты определения метрологических характеристик рабочих эталонов ЭОСИ, которые будут сопоставимы и применимы в международном масштабе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8.381-2009. «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Эталоны. Способы выражения точности» (издание с поправками от 01.01.2012)
2. ГОСТ Р 8.807-2012 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Средства измерений энергетической освещённости солнечным излучением. Методика поверки»
3. МИ 1989-89. «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Средства измерений энергетической освещённости солнечным излучением образцовые. Методика поверки»
4. РД 52.18.761-2018. «Средства измерений гидрометеорологического назначения сетевые. Общие технические требования»
5. РД 52.04.562-96. «Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 5. Актинометрические наблюдения. Часть I. Актинометрические наблюдения на станциях»
6. Государственная поверочная схема для средств измерений радиометрических величин некогерентного оптического излучения в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной области спектра. (утверждена приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от «21» ноября 2023 г. № 2414)
7. Перечень измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, утвержденный постановлением Правительства РФ от 16 ноября 2020 года N 1847 (с изменениями на 7 февраля 2023 года).
8. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений (ВМО-№ 8). Том 1 – Измерения метеорологических переменных. Всемирная метеорологическая организация, 2021 г.

9. А. А. Родионов, И. В. Далюк, А. Н. Емельянов, В. С. Яковлев, Д. В. Фролов. Особенности автоматизированной системы поверки эталонных актинометрических средств измерений. // Труды ГГО. Вып. 601, 2021 г. С. 126–135.
10. Богомолов И. В., Клеванцова В. А., Павлов А. В. (2013). Уточнение характеристик пиргелиометров, входящих в эталонную группу приборов Росгидромета // Труды ГГО. Вып. 569, 2013 г. С. 233–238.
11. А.А. Родионов, В.С. Яковлев. Международные сравнения пиргелиометров и международный радиометрический эталон. // Труды ГГО. Вып. 605, 2022 г. С. 92-108.
12. Ю.Д. Янишевский. Компенсационный пиргелиометр и его улучшение. // Актинометрия и атмосферная оптика. Л. Гидрометеиздат, 1961 г. С. 285-289.
13. И. А. Покровская. О воспроизведении и хранении международной пиргелиометрической шкалы 1956 г. // Труды ГГО. Вып. 331, 1975 г. С. 105–111.
14. А. А. Кмито, Ю. А. Складов. Пиргелиометрия. Л. Гидрометеиздат, 1981 г. 232 С.
15. PMO6-CC Operating Manual. Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos / World Radiation Center, 2001.
16. Driemel A et.al. Baseline surface radiation network (BSRN). Structure and data description (1992-2017). // Earth System Science Data, №10 (1491-1501), 2018.
17. BIPM-WMO Metrology for Climate Action Workshop, 26-30 September 2022. // Rapport BIPM 2023/03, WMO IOM Report No. 142. (<https://www.bipm.org/en/doi/10.59161/Rapport202303>)
18. R.W. Brusa. Solar Radiometry.// PMOD/WRC publication No.598, 1983.

19. W. Finsterle. International Pyrheliometer Comparison IPC-XIII. World Meteorological Organization, 2023. (WMO IOM Report № 140)
20. Сайт Мирового Центра Радиационных Данных: <http://wrdc.mgo.rssi.ru>
21. Сайт World Radiation Monitoring Center, Baseline Surface Radiation Network: <https://bsrn.awi.de/>
22. Заключение о состоянии и работе метеорологической, актинометрической и теплобалансовой сетей Росгидромета в 2022 г. (http://voeikovmgo.ru/images/stories/publications/2023/Заключение_2022.pdf).
23. Сайт РСБД «Актинометрия»:
<http://voeikovmgo.ru/index.php/deyatelnost/gosfond-ggo/43-resursy/aktinometrija/783-aktinometrija>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Исходные данные совместных измерений при поверке рабочих эталонов ЭОСИ.

Пояснения

В нижеприведённой таблице в первых двух столбцах указаны дата и время измерения. В третьем столбце записана температура воздуха вокруг рабочего эталона ЭОСИ в момент измерения. В четвёртом-восьмом столбцах записаны значения напряжения с термобатарей поверяемых рабочих эталонов. В последнем столбце – значения прямой солнечной радиации измеренной пиргелиометром РМО6 и приведённые к показаниям МРЭ через WRR-фактор, равный 0,999957.

Дата	Время	t, °C	М-3 № 87 U, мВ	М-3 № 133 U, мВ	СФ-12 № 26265001 U, мВ	CHP1 № 100314 U, мВ	CHP1 № 100319 U, мВ	S_{WRR} , Вт/м ²
11.09.2023	10:05:00	15.0	7.776	9.640	6.259	7.893	8.021	936.75
11.09.2023	10:06:30	15.2	7.780	9.638	6.261	7.908	8.027	937.50
11.09.2023	10:08:00	15.4	7.763	9.621	6.250	7.881	8.004	935.08
11.09.2023	10:09:30	15.5	7.765	9.622	6.251	7.896	8.011	937.03
11.09.2023	10:11:00	15.8	7.781	9.639	6.261	7.907	8.022	937.91
11.09.2023	10:12:30	15.7	7.781	9.640	6.265	7.910	8.027	938.19
11.09.2023	10:14:00	15.6	7.786	9.644	6.263	7.911	8.025	937.92
11.09.2023	10:15:30	15.9	7.783	9.645	6.271	7.916	8.023	939.20
11.09.2023	10:17:00	16.1	7.769	9.621	6.252	7.904	8.011	937.14
11.09.2023	10:18:30	15.7	7.776	9.636	6.264	7.907	8.025	937.65
11.09.2023	10:35:00	16.1	7.833	9.704	6.306	7.965	8.083	945.18
11.09.2023	10:36:30	16.4	7.835	9.704	6.305	7.965	8.080	944.98
11.09.2023	10:38:00	16.6	7.855	9.727	6.322	7.985	8.100	947.41
11.09.2023	10:39:30	16.5	7.848	9.721	6.316	7.981	8.097	946.78
11.09.2023	10:41:00	16.4	7.844	9.719	6.314	7.976	8.098	946.37
11.09.2023	10:42:30	16.5	7.836	9.706	6.306	7.965	8.082	945.07
11.09.2023	10:44:00	16.6	7.853	9.730	6.321	7.987	8.099	947.95
11.09.2023	10:45:30	16.5	7.864	9.739	6.329	7.993	8.113	948.63
11.09.2023	10:47:00	16.5	7.884	9.765	6.345	8.010	8.133	950.96
11.09.2023	10:48:30	16.5	7.883	9.764	6.347	8.020	8.134	951.26
15.09.2023	10:00:00	20.1	7.301	9.005	5.860	7.385	7.512	878.38
15.09.2023	10:01:30	20.4	7.310	9.015	5.867	7.400	7.521	878.84
15.09.2023	10:03:00	20.2	7.319	9.029	5.876	7.405	7.535	879.98
15.09.2023	10:04:30	20.2	7.330	9.039	5.886	7.421	7.552	880.94
15.09.2023	10:06:00	19.9	7.343	9.054	5.896	7.425	7.561	882.71
15.09.2023	10:07:30	19.8	7.359	9.071	5.908	7.448	7.572	884.55
15.09.2023	10:09:00	19.9	7.364	9.074	5.909	7.458	7.579	885.48
15.09.2023	10:10:30	19.9	7.368	9.086	5.916	7.459	7.586	887.21
15.09.2023	10:12:00	20.2	7.369	9.087	5.914	7.463	7.585	887.33
15.09.2023	10:13:30	20.2	7.378	9.093	5.916	7.470	7.597	887.99
15.09.2023	10:30:00	20.9	7.364	9.079	5.915	7.463	7.586	887.19
15.09.2023	10:31:30	21.1	7.391	9.116	5.932	7.490	7.607	891.01

Дата	Время	t, °C	М-3 № 87 U, мВ	М-3 № 133 U, мВ	СФ-12 № 26265001 U, мВ	CHP1 № 100314 U, мВ	CHP1 № 100319 U, мВ	$S_{WRR,}$ Вт/м ²
15.09.2023	10:33:00	21.1	7.386	9.108	5.931	7.489	7.613	889.56
15.09.2023	10:34:30	21.0	7.375	9.092	5.918	7.479	7.595	887.83
15.09.2023	10:36:00	21.1	7.380	9.098	5.921	7.478	7.597	888.63
15.09.2023	10:37:30	21.3	7.381	9.101	5.928	7.481	7.602	888.41
15.09.2023	10:39:00	21.1	7.384	9.105	5.925	7.492	7.600	888.80
15.09.2023	10:40:30	21.2	7.382	9.103	5.925	7.474	7.597	889.84
15.09.2023	10:42:00	21.1	7.411	9.139	5.947	7.511	7.636	893.42
15.09.2023	10:43:30	21.1	7.457	9.192	5.980	7.561	7.682	898.40
15.09.2023	11:00:00	20.9	7.327	9.035	5.878	7.398	7.526	881.04
15.09.2023	11:01:30	21.0	7.324	9.026	5.879	7.411	7.540	881.32
15.09.2023	11:03:00	21.0	7.366	9.081	5.911	7.461	7.580	887.61
15.09.2023	11:04:30	21.0	7.395	9.113	5.933	7.483	7.618	889.59
15.09.2023	11:06:00	21.0	7.418	9.142	5.950	7.498	7.638	892.03
15.09.2023	11:07:30	21.4	7.417	9.144	5.953	7.503	7.635	892.42
15.09.2023	11:09:00	21.3	7.395	9.117	5.937	7.495	7.622	890.65
15.09.2023	11:10:30	21.1	7.392	9.112	5.935	7.481	7.613	889.81
15.09.2023	11:12:00	21.2	7.389	9.112	5.933	7.476	7.610	889.43
15.09.2023	11:13:30	21.4	7.398	9.122	5.938	7.490	7.623	891.16
15.09.2023	11:30:00	21.0	7.476	9.211	5.993	7.552	7.684	898.90
15.09.2023	11:31:30	21.3	7.468	9.201	5.987	7.537	7.675	897.78
15.09.2023	11:33:00	21.3	7.467	9.199	5.983	7.538	7.680	897.72
15.09.2023	11:34:30	21.6	7.462	9.195	5.984	7.541	7.670	897.07
15.09.2023	11:36:00	21.7	7.451	9.181	5.977	7.538	7.658	895.23
15.09.2023	11:37:30	21.7	7.466	9.201	5.988	7.545	7.682	898.12
15.09.2023	11:39:00	22.1	7.477	9.211	5.993	7.548	7.684	899.29
15.09.2023	11:40:30	22.4	7.466	9.204	5.987	7.549	7.682	898.92
15.09.2023	11:42:00	22.7	7.463	9.197	5.983	7.552	7.679	899.06
15.09.2023	11:43:30	22.9	7.442	9.170	5.968	7.529	7.658	896.45
15.09.2023	12:00:00	21.3	7.451	9.185	5.984	7.567	7.678	898.13
15.09.2023	12:01:30	21.3	7.467	9.200	5.989	7.556	7.682	899.05
15.09.2023	12:03:00	21.7	7.483	9.227	6.003	7.568	7.695	900.50
15.09.2023	12:04:30	22.0	7.445	9.177	5.974	7.535	7.659	896.50
15.09.2023	12:06:00	22.3	7.415	9.138	5.953	7.519	7.628	892.11
15.09.2023	12:07:30	22.5	7.359	9.071	5.909	7.454	7.571	885.12
15.09.2023	12:09:00	22.5	7.334	9.040	5.888	7.431	7.550	883.29
15.09.2023	12:10:30	22.4	7.344	9.053	5.895	7.440	7.568	885.08
15.09.2023	12:12:00	22.5	7.342	9.048	5.893	7.427	7.547	884.74
15.09.2023	12:13:30	22.5	7.320	9.025	5.880	7.424	7.549	882.92
15.09.2023	12:30:00	22.9	7.259	8.947	5.835	7.367	7.484	875.87
15.09.2023	12:31:30	22.6	7.247	8.930	5.820	7.349	7.468	873.54
15.09.2023	12:33:00	22.4	7.259	8.941	5.827	7.361	7.485	874.72
15.09.2023	12:34:30	21.9	7.278	8.971	5.847	7.384	7.503	877.96
15.09.2023	12:36:00	21.9	7.299	8.994	5.863	7.405	7.516	879.78
15.09.2023	12:37:30	22.2	7.314	9.012	5.870	7.419	7.517	880.99
15.09.2023	12:39:00	22.5	7.291	8.983	5.852	7.385	7.500	878.24

Дата	Время	t, °C	М-3 № 87 U, мВ	М-3 № 133 U, мВ	СФ-12 № 26265001 U, мВ	CHP1 № 100314 U, мВ	CHP1 № 100319 U, мВ	$S_{WRR,}$ Вт/м ²
15.09.2023	12:40:30	22.2	7.287	8.982	5.851	7.392	7.510	877.77
15.09.2023	12:42:00	21.9	7.282	8.970	5.843	7.385	7.503	876.74
15.09.2023	12:43:30	21.3	7.296	8.989	5.853	7.393	7.510	878.44
15.09.2023	13:00:00	22.7	7.059	8.697	5.671	7.134	7.245	849.02
15.09.2023	13:01:30	22.8	7.055	8.692	5.664	7.137	7.245	848.98
15.09.2023	13:03:00	23.1	7.048	8.682	5.659	7.136	7.242	848.21
15.09.2023	13:04:30	23.2	7.077	8.719	5.682	7.167	7.281	851.95
15.09.2023	13:06:00	23.2	7.112	8.758	5.710	7.196	7.304	855.54
15.09.2023	13:07:30	23.1	7.100	8.745	5.697	7.185	7.294	854.21
15.09.2023	13:09:00	23.0	7.102	8.745	5.702	7.188	7.300	854.87
15.09.2023	13:10:30	22.8	7.039	8.670	5.654	7.130	7.243	848.00
15.09.2023	13:12:00	22.8	6.961	8.572	5.591	7.036	7.152	838.13
15.09.2023	13:13:30	22.9	6.947	8.559	5.577	7.036	7.143	836.86
20.09.2023	10:05:00	18.6	7.986	9.850	6.391	8.097	8.223	961.09
20.09.2023	10:06:30	18.8	7.985	9.844	6.386	8.096	8.229	959.04
20.09.2023	10:08:00	18.6	8.002	9.867	6.401	8.112	8.244	962.04
20.09.2023	10:09:30	18.8	7.995	9.850	6.391	8.103	8.231	960.84
20.09.2023	10:11:00	18.8	8.002	9.863	6.402	8.115	8.247	961.59
20.09.2023	10:12:30	18.6	8.021	9.889	6.417	8.138	8.265	964.56
20.09.2023	10:14:00	18.9	8.021	9.888	6.417	8.137	8.265	963.91
20.09.2023	10:15:30	18.9	8.017	9.883	6.414	8.132	8.259	964.43
20.09.2023	10:17:00	18.7	8.026	9.895	6.421	8.138	8.267	965.47
20.09.2023	10:18:30	18.8	8.043	9.918	6.433	8.160	8.284	967.80
20.09.2023	10:35:00	19.0	8.077	9.956	6.461	8.198	8.327	971.14
20.09.2023	10:36:30	18.9	8.076	9.957	6.463	8.187	8.316	968.86
20.09.2023	10:38:00	19.1	8.094	9.982	6.478	8.210	8.340	972.30
20.09.2023	10:39:30	19.2	8.105	9.994	6.482	8.216	8.343	970.92
20.09.2023	10:41:00	19.1	8.100	9.990	6.479	8.209	8.340	972.55
20.09.2023	10:42:30	19.2	8.093	9.979	6.474	8.203	8.331	973.58
20.09.2023	10:44:00	19.1	8.114	10.005	6.491	8.226	8.350	975.69
20.09.2023	10:45:30	19.2	8.115	10.003	6.491	8.226	8.350	975.96
20.09.2023	10:47:00	19.1	8.112	10.000	6.488	8.218	8.347	974.94
20.09.2023	10:48:30	19.2	8.134	10.030	6.506	8.246	8.369	978.48
20.09.2023	11:05:00	20.1	8.137	10.029	6.508	8.259	8.385	980.09
20.09.2023	11:06:30	20.1	8.127	10.013	6.499	8.248	8.379	977.75
20.09.2023	11:08:00	20.0	8.138	10.029	6.510	8.262	8.386	979.78
20.09.2023	11:09:30	20.2	8.147	10.039	6.514	8.269	8.394	981.16
20.09.2023	11:11:00	20.3	8.145	10.035	6.515	8.268	8.395	979.87
20.09.2023	11:12:30	20.0	8.174	10.072	6.539	8.301	8.436	981.91
20.09.2023	11:14:00	20.0	8.168	10.064	6.531	8.294	8.419	985.21
20.09.2023	11:15:30	19.9	8.153	10.048	6.525	8.275	8.400	983.00
20.09.2023	11:17:00	20.1	8.171	10.070	6.536	8.293	8.424	985.41
20.09.2023	11:18:30	19.7	8.190	10.092	6.553	8.311	8.442	987.19
20.09.2023	11:35:00	20.0	8.203	10.112	6.563	8.329	8.458	989.02
20.09.2023	11:36:30	19.9	8.187	10.092	6.549	8.308	8.438	986.01

Дата	Время	t, °C	М-3 № 87 U, мВ	М-3 № 133 U, мВ	СФ-12 № 26265001 U, мВ	CHP1 № 100314 U, мВ	CHP1 № 100319 U, мВ	$S_{WRR,}$ Вт/м ²
20.09.2023	11:38:00	20.1	8.194	10.104	6.552	8.308	8.440	987.60
20.09.2023	11:39:30	20.0	8.188	10.101	6.551	8.311	8.440	988.45
20.09.2023	11:41:00	20.1	8.197	10.102	6.554	8.312	8.442	988.41
20.09.2023	11:42:30	20.1	8.190	10.096	6.550	8.308	8.436	986.91
20.09.2023	11:44:00	20.1	8.196	10.101	6.554	8.312	8.441	987.50
20.09.2023	11:45:30	20.3	8.181	10.088	6.544	8.301	8.429	987.56
20.09.2023	11:47:00	20.0	8.219	10.134	6.571	8.337	8.472	991.00
20.09.2023	11:48:30	20.1	8.192	10.098	6.552	8.308	8.439	988.16
20.09.2023	12:05:00	20.4	8.168	10.071	6.537	8.288	8.419	985.43
20.09.2023	12:06:30	20.6	8.204	10.112	6.563	8.321	8.448	988.89
20.09.2023	12:08:00	20.5	8.174	10.079	6.543	8.294	8.415	985.83
20.09.2023	12:09:30	20.9	8.170	10.071	6.536	8.289	8.409	985.39
20.09.2023	12:11:00	21.0	8.169	10.071	6.538	8.291	8.416	984.72
20.09.2023	12:12:30	20.8	8.170	10.069	6.537	8.290	8.416	985.27
20.09.2023	12:14:00	21.0	8.168	10.066	6.536	8.291	8.425	984.62
20.09.2023	12:15:30	21.1	8.149	10.045	6.527	8.278	8.414	981.45
20.09.2023	12:17:00	20.6	8.145	10.039	6.521	8.268	8.386	983.00
20.09.2023	12:18:30	21.0	8.161	10.057	6.535	8.284	8.416	983.09
20.09.2023	12:35:00	21.7	8.119	9.998	6.505	8.258	8.385	980.59
20.09.2023	12:36:30	22.0	8.124	10.008	6.508	8.252	8.376	980.60
20.09.2023	12:38:00	22.1	8.131	10.013	6.512	8.255	8.392	981.22
20.09.2023	12:39:30	21.8	8.119	9.998	6.505	8.249	8.386	979.76
20.09.2023	12:41:00	21.5	8.097	9.970	6.487	8.227	8.357	976.86
20.09.2023	12:42:30	21.7	8.083	9.952	6.472	8.212	8.346	975.14
20.09.2023	12:44:00	22.0	8.058	9.921	6.455	8.182	8.305	972.60
20.09.2023	12:45:30	22.2	8.043	9.902	6.440	8.171	8.304	971.72
20.09.2023	12:47:00	22.1	8.047	9.906	6.446	8.180	8.314	972.50
20.09.2023	12:48:30	21.5	8.025	9.884	6.427	8.157	8.289	969.47
20.09.2023	13:05:00	21.6	7.970	9.814	6.388	8.103	8.236	962.43
20.09.2023	13:06:30	21.7	7.966	9.811	6.381	8.096	8.229	961.70
20.09.2023	13:08:00	21.9	7.969	9.814	6.384	8.098	8.232	961.93
20.09.2023	13:09:30	21.9	7.973	9.817	6.390	8.107	8.241	963.06
20.09.2023	13:11:00	21.7	7.955	9.794	6.372	8.081	8.216	959.78
20.09.2023	13:12:30	21.7	7.934	9.772	6.358	8.059	8.187	957.52
20.09.2023	13:14:00	21.9	7.947	9.786	6.375	8.082	8.212	959.72
20.09.2023	13:15:30	22.1	7.942	9.775	6.363	8.063	8.196	958.25
20.09.2023	13:17:00	21.6	7.948	9.791	6.371	8.080	8.211	960.49
20.09.2023	13:18:30	21.5	7.912	9.745	6.341	8.038	8.173	954.93
20.09.2023	13:35:00	21.6	7.777	9.578	6.236	7.897	8.028	938.12
20.09.2023	13:36:30	21.3	7.740	9.530	6.199	7.855	7.992	932.99
20.09.2023	13:38:00	21.1	7.722	9.513	6.190	7.835	7.970	930.77
20.09.2023	13:39:30	21.1	7.806	9.616	6.254	7.923	8.057	941.97
20.09.2023	13:41:00	21.2	7.787	9.594	6.238	7.909	8.045	939.91
20.09.2023	13:42:30	21.0	7.787	9.593	6.238	7.904	8.042	939.42
20.09.2023	13:44:00	21.0	7.812	9.622	6.257	7.933	8.068	940.82

Дата	Время	t, °C	М-3 № 87 U, мВ	М-3 № 133 U, мВ	СФ-12 № 26265001 U, мВ	CHP1 № 100314 U, мВ	CHP1 № 100319 U, мВ	S_{WRR} , Вт/м ²
20.09.2023	13:45:30	20.8	7.782	9.589	6.230	7.895	8.033	938.17
20.09.2023	13:47:00	21.0	7.770	9.571	6.220	7.881	8.016	936.44
20.09.2023	13:48:30	21.0	7.744	9.543	6.202	7.855	7.989	933.65
20.09.2023	14:05:00	20.4	7.662	9.439	6.136	7.773	7.908	922.66
20.09.2023	14:06:30	20.5	7.662	9.442	6.140	7.767	7.900	923.31
20.09.2023	14:08:00	20.8	7.620	9.390	6.105	7.721	7.855	918.87
20.09.2023	14:09:30	20.6	7.620	9.387	6.103	7.729	7.861	918.08
20.09.2023	14:11:00	20.7	7.649	9.423	6.127	7.757	7.890	920.55
20.09.2023	14:12:30	20.4	7.627	9.398	6.106	7.734	7.868	918.54
20.09.2023	14:14:00	20.4	7.610	9.376	6.092	7.708	7.842	915.88
20.09.2023	14:15:30	20.7	7.604	9.367	6.086	7.701	7.837	915.82
20.09.2023	14:17:00	20.8	7.563	9.318	6.055	7.664	7.802	910.47
20.09.2023	14:18:30	21.0	7.535	9.279	6.035	7.633	7.765	907.22
22.09.2023	10:30:00	18.8	7.636	9.419	6.127	7.754	7.869	919.06
22.09.2023	10:33:00	19.0	7.647	9.427	6.136	7.758	7.887	920.59
22.09.2023	10:34:30	19.4	7.656	9.441	6.144	7.774	7.895	922.72
22.09.2023	10:36:00	19.6	7.663	9.451	6.146	7.780	7.905	923.01
22.09.2023	10:37:30	19.5	7.660	9.448	6.149	7.780	7.904	923.21
22.09.2023	10:39:00	19.5	7.667	9.451	6.152	7.783	7.908	923.10
22.09.2023	10:40:30	19.5	7.656	9.441	6.146	7.777	7.908	923.22
22.09.2023	10:42:00	19.5	7.657	9.442	6.145	7.776	7.906	922.62
22.09.2023	10:43:30	19.8	7.656	9.437	6.146	7.779	7.902	922.62
22.09.2023	10:45:00	20.1	7.647	9.426	6.133	7.761	7.892	921.46
22.09.2023	11:00:00	20.3	7.643	9.414	6.130	7.758	7.890	921.04
22.09.2023	11:01:30	20.2	7.640	9.415	6.133	7.760	7.886	920.79
22.09.2023	11:03:00	20.4	7.623	9.393	6.118	7.734	7.864	917.94
22.09.2023	11:04:30	20.3	7.636	9.408	6.129	7.754	7.881	920.78
22.09.2023	11:06:00	20.5	7.636	9.412	6.130	7.759	7.881	920.58
22.09.2023	11:07:30	20.5	7.622	9.393	6.117	7.749	7.874	919.54
22.09.2023	11:09:00	20.2	7.613	9.383	6.111	7.734	7.861	917.73
22.09.2023	11:10:30	20.3	7.642	9.416	6.130	7.760	7.892	920.55
22.09.2023	11:12:00	20.1	7.679	9.460	6.164	7.796	7.926	925.70
22.09.2023	11:13:30	20.1	7.649	9.418	6.135	7.767	7.889	920.86
22.09.2023	11:30:00	21.1	7.646	9.423	6.140	7.767	7.894	920.97
22.09.2023	11:31:30	21.0	7.634	9.408	6.131	7.752	7.880	920.25
22.09.2023	11:33:00	20.9	7.637	9.414	6.133	7.758	7.887	919.73
22.09.2023	11:34:30	20.8	7.656	9.439	6.147	7.783	7.911	921.68
22.09.2023	11:36:00	20.8	7.662	9.444	6.150	7.779	7.915	923.70
22.09.2023	11:37:30	20.7	7.664	9.442	6.152	7.780	7.911	923.17
22.09.2023	11:39:00	20.9	7.681	9.465	6.164	7.796	7.923	924.90
22.09.2023	11:40:30	21.1	7.661	9.441	6.148	7.777	7.907	923.90
22.09.2023	11:42:00	21.2	7.685	9.466	6.163	7.793	7.926	925.56
22.09.2023	11:43:30	21.3	7.676	9.458	6.164	7.791	7.930	926.24
22.09.2023	12:00:00	20.2	7.632	9.406	6.131	7.749	7.892	919.95
22.09.2023	12:01:30	20.3	7.638	9.413	6.132	7.751	7.893	921.28

Дата	Время	t, °C	М-3 № 87 U, мВ	М-3 № 133 U, мВ	СФ-12 № 26265001 U, мВ	CHP1 № 100314 U, мВ	CHP1 № 100319 U, мВ	$S_{WRR, 2}$ Вт/м ²
22.09.2023	12:03:00	20.3	7.656	9.435	6.145	7.766	7.913	921.11
22.09.2023	12:04:30	20.3	7.638	9.415	6.131	7.749	7.895	920.61
22.09.2023	12:06:00	20.3	7.677	9.463	6.161	7.788	7.932	925.78
22.09.2023	12:07:30	20.3	7.654	9.433	6.143	7.768	7.915	923.94
22.09.2023	12:09:00	20.3	7.659	9.439	6.145	7.772	7.916	923.31
22.09.2023	12:10:30	20.3	7.644	9.419	6.132	7.758	7.900	921.91
22.09.2023	12:12:00	20.3	7.653	9.430	6.143	7.772	7.917	923.46
22.09.2023	12:13:30	20.3	7.661	9.431	6.150	7.780	7.929	923.80
22.09.2023	12:30:00	21.2	7.636	9.409	6.130	7.760	7.912	921.79
22.09.2023	12:31:30	21.2	7.676	9.455	6.159	7.791	7.945	925.40
22.09.2023	12:33:00	21.2	7.664	9.439	6.146	7.773	7.923	923.56
22.09.2023	12:34:30	21.2	7.627	9.394	6.114	7.734	7.888	920.35
22.09.2023	12:36:00	21.2	7.645	9.419	6.130	7.749	7.897	921.35
22.09.2023	12:37:30	22.6	7.621	9.383	6.108	7.731	7.883	918.78
22.09.2023	12:39:00	22.2	7.612	9.377	6.107	7.737	7.874	918.17
22.09.2023	12:40:30	22.1	7.610	9.371	6.106	7.727	7.877	918.79
22.09.2023	12:42:00	22.0	7.630	9.397	6.125	7.754	7.904	920.13
22.09.2023	12:43:30	22.2	7.594	9.351	6.091	7.716	7.861	916.72

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Таблица с итоговым расчётом по ГОСТ Р 8.807-2012

Пояснения

В нижеприведённой таблице в первых двух столбцах указаны дата и время начала измерительной серии. В третьем – седьмом столбцах записаны значения коэффициента преобразования для соответствующего рабочего эталона ЭОСИ, определённого по средним за серию значениям. В последних двух строках таблицы указаны среднее значения коэффициента преобразования за все измерительные серии и случайная погрешность результата его определения (по ГОСТ Р 8.807-2012).

Дата	Время начала серии	М-3 № 87 K_{20} , мВ/(кВт·м ⁻²)	М-3 № 133 K_{20} , мВ/(кВт·м ⁻²)	СФ-12 № 26265001 K , мВ/(кВт·м ⁻²)	СНР1 № 100314 K , мВ/(кВт·м ⁻²)	СНР1 № 100319 K , мВ/(кВт·м ⁻²)
11.09.2023	10:05:00	8.266	10.241	6.677	8.431	8.555
11.09.2023	10:35:00	8.266	10.238	6.672	8.427	8.551
15.09.2023	10:00:00	8.315	10.252	6.673	8.415	8.558
15.09.2023	10:30:00	8.309	10.245	6.663	8.415	8.549
15.09.2023	11:00:00	8.316	10.252	6.668	8.407	8.554
15.09.2023	11:30:00	8.325	10.259	6.665	8.401	8.548
15.09.2023	12:00:00	8.317	10.252	6.665	8.411	8.546
15.09.2023	12:30:00	8.313	10.243	6.663	8.416	8.547
15.09.2023	13:00:00	8.328	10.258	6.671	8.408	8.538
20.09.2023	10:05:00	8.309	10.243	6.653	8.434	8.568
20.09.2023	10:35:00	8.317	10.255	6.658	8.438	8.569
20.09.2023	11:05:00	8.304	10.232	6.642	8.429	8.559
20.09.2023	11:35:00	8.294	10.225	6.633	8.414	8.546
20.09.2023	12:05:00	8.299	10.230	6.638	8.418	8.547
20.09.2023	12:35:00	8.295	10.215	6.635	8.416	8.550
20.09.2023	13:05:00	8.295	10.214	6.638	8.418	8.556
20.09.2023	13:35:00	8.301	10.225	6.643	8.417	8.561
20.09.2023	14:05:00	8.307	10.235	6.649	8.416	8.562
22.09.2023	10:30:00	8.297	10.231	6.661	8.428	8.564
22.09.2023	11:00:00	8.299	10.226	6.659	8.427	8.565
22.09.2023	11:30:00	8.306	10.235	6.662	8.426	8.568
22.09.2023	12:00:00	8.296	10.223	6.657	8.418	8.575
22.09.2023	12:30:00	8.302	10.225	6.650	8.416	8.578
Среднее		8.303	10.237	6.656	8.419	8.557
S₀, %		0.038	0.027	0.041	0.023	0.025

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Таблицы с итоговым расчётом, согласно предлагаемым
изменениям и дополнениям в существующую методику поверки**

Пояснения

В нижеприведённых таблицах 1 – 5 в первых двух столбцах указаны дата и время измерения. В третьем столбце записана температура воздуха вокруг рабочего эталона ЭОСИ в момент измерения. В четвёртом столбце записаны значения напряжения с термобатареи поверяемого рабочего эталона. В пятом столбце записаны значения прямой солнечной радиации измеренной пиргелиометром РМОб и приведённые к показаниям МРЭ через WRR-фактор, равный 0,999957. В шестом столбце записаны значения коэффициентов преобразования, рассчитанные по соответствующим совместным измерениям. В седьмом столбце записаны значения прямой солнечной радиации, рассчитанные по показаниям поверяемого рабочего эталона ЭОСИ. В последнем столбце – разница между показаниями в столбцах 7 и 5.

Таблица 1 – Актинометр М-3 № 87

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
11.09.2023	10:05:00	15.0	7.776	936.75	8.272	933.24	-3.51
11.09.2023	10:06:30	15.2	7.780	937.50	8.269	933.72	-3.78
11.09.2023	10:08:00	15.4	7.763	935.08	8.273	931.68	-3.40
11.09.2023	10:09:30	15.5	7.765	937.03	8.258	931.92	-5.11
11.09.2023	10:11:00	15.8	7.781	937.91	8.267	933.84	-4.07
11.09.2023	10:12:30	15.7	7.781	938.19	8.264	933.84	-4.35
11.09.2023	10:14:00	15.6	7.786	937.92	8.272	934.44	-3.48
11.09.2023	10:15:30	15.9	7.783	939.20	8.258	934.08	-5.12
11.09.2023	10:17:00	16.1	7.769	937.14	8.261	932.40	-4.74
11.09.2023	10:18:30	15.7	7.776	937.65	8.264	933.24	-4.41
11.09.2023	10:35:00	16.1	7.833	945.18	8.264	940.73	-4.45
11.09.2023	10:36:30	16.4	7.835	944.98	8.268	940.97	-4.01
11.09.2023	10:38:00	16.6	7.855	947.41	8.268	943.37	-4.04
11.09.2023	10:39:30	16.5	7.848	946.78	8.266	942.53	-4.25
11.09.2023	10:41:00	16.4	7.844	946.37	8.265	942.05	-4.32
11.09.2023	10:42:30	16.5	7.836	945.07	8.268	941.09	-3.98
11.09.2023	10:44:00	16.6	7.853	947.95	8.261	943.13	-4.82
11.09.2023	10:45:30	16.5	7.864	948.63	8.266	944.45	-4.18
11.09.2023	10:47:00	16.5	7.884	950.96	8.267	946.85	-4.11
11.09.2023	10:48:30	16.5	7.883	951.26	8.264	946.73	-4.53
15.09.2023	10:00:00	20.1	7.301	878.38	8.312	879.38	1.00
15.09.2023	10:01:30	20.4	7.310	878.84	8.318	880.46	1.62
15.09.2023	10:03:00	20.2	7.319	879.98	8.318	881.55	1.57
15.09.2023	10:04:30	20.2	7.330	880.94	8.321	882.87	1.93
15.09.2023	10:06:00	19.9	7.343	882.71	8.319	884.44	1.73
15.09.2023	10:07:30	19.8	7.359	884.55	8.320	886.36	1.81
15.09.2023	10:09:00	19.9	7.364	885.48	8.317	886.97	1.49

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
15.09.2023	10:10:30	19.9	7.368	887.21	8.305	887.45	0.24
15.09.2023	10:12:00	20.2	7.369	887.33	8.305	887.57	0.24
15.09.2023	10:13:30	20.2	7.378	887.99	8.309	888.65	0.66
15.09.2023	10:30:00	20.9	7.364	887.19	8.308	887.69	0.50
15.09.2023	10:31:30	21.1	7.391	891.01	8.302	890.94	-0.07
15.09.2023	10:33:00	21.1	7.386	889.56	8.310	890.34	0.78
15.09.2023	10:34:30	21.0	7.375	887.83	8.314	889.02	1.19
15.09.2023	10:36:00	21.1	7.380	888.63	8.312	889.62	0.99
15.09.2023	10:37:30	21.3	7.381	888.41	8.315	889.74	1.33
15.09.2023	10:39:00	21.1	7.384	888.80	8.315	890.10	1.30
15.09.2023	10:40:30	21.2	7.382	889.84	8.303	889.86	0.02
15.09.2023	10:42:00	21.1	7.411	893.42	8.302	893.36	-0.06
15.09.2023	10:43:30	21.1	7.457	898.40	8.308	898.90	0.50
15.09.2023	11:00:00	20.9	7.327	881.04	8.324	883.25	2.21
15.09.2023	11:01:30	21.0	7.324	881.32	8.318	882.89	1.57
15.09.2023	11:03:00	21.0	7.366	887.61	8.306	887.95	0.34
15.09.2023	11:04:30	21.0	7.395	889.59	8.320	891.45	1.86
15.09.2023	11:06:00	21.0	7.418	892.03	8.323	894.22	2.19
15.09.2023	11:07:30	21.4	7.417	892.42	8.319	894.10	1.68
15.09.2023	11:09:00	21.3	7.395	890.65	8.310	891.45	0.80
15.09.2023	11:10:30	21.1	7.392	889.81	8.315	891.09	1.28
15.09.2023	11:12:00	21.2	7.389	889.43	8.315	890.72	1.29
15.09.2023	11:13:30	21.4	7.398	891.16	8.309	891.81	0.65
15.09.2023	11:30:00	21.0	7.476	898.90	8.329	901.75	2.85
15.09.2023	11:31:30	21.3	7.468	897.78	8.331	900.78	3.00
15.09.2023	11:33:00	21.3	7.467	897.72	8.330	900.66	2.94
15.09.2023	11:34:30	21.6	7.462	897.07	8.331	900.06	2.99
15.09.2023	11:36:00	21.7	7.451	895.23	8.335	898.73	3.50
15.09.2023	11:37:30	21.7	7.466	898.12	8.325	900.54	2.42
15.09.2023	11:39:00	22.1	7.477	899.29	8.327	901.87	2.58
15.09.2023	11:40:30	22.4	7.466	898.92	8.318	900.54	1.62
15.09.2023	11:42:00	22.7	7.463	899.06	8.313	900.18	1.12
15.09.2023	11:43:30	22.9	7.442	896.45	8.314	897.65	1.20
15.09.2023	12:00:00	21.3	7.451	898.13	8.310	898.90	0.77
15.09.2023	12:01:30	21.3	7.467	899.05	8.319	900.83	1.78
15.09.2023	12:03:00	21.7	7.483	900.50	8.324	902.76	2.26
15.09.2023	12:04:30	22.0	7.445	896.50	8.318	898.17	1.67
15.09.2023	12:06:00	22.3	7.415	892.11	8.326	894.55	2.44
15.09.2023	12:07:30	22.5	7.359	885.12	8.328	887.80	2.68
15.09.2023	12:09:00	22.5	7.334	883.29	8.317	884.78	1.49
15.09.2023	12:10:30	22.4	7.344	885.08	8.312	885.99	0.91
15.09.2023	12:12:00	22.5	7.342	884.74	8.312	885.75	1.01
15.09.2023	12:13:30	22.5	7.320	882.92	8.305	883.09	0.17
15.09.2023	12:30:00	22.9	7.259	875.87	8.302	875.79	-0.08
15.09.2023	12:31:30	22.6	7.247	873.54	8.311	874.34	0.80
15.09.2023	12:33:00	22.4	7.259	874.72	8.313	875.79	1.07

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
15.09.2023	12:34:30	21.9	7.278	877.96	8.304	878.08	0.12
15.09.2023	12:36:00	21.9	7.299	879.78	8.311	880.62	0.84
15.09.2023	12:37:30	22.2	7.314	880.99	8.317	882.43	1.44
15.09.2023	12:39:00	22.5	7.291	878.24	8.316	879.65	1.41
15.09.2023	12:40:30	22.2	7.287	877.77	8.316	879.17	1.40
15.09.2023	12:42:00	21.9	7.282	876.74	8.320	878.56	1.82
15.09.2023	12:43:30	21.3	7.296	878.44	8.320	880.25	1.81
15.09.2023	13:00:00	22.7	7.059	849.02	8.334	852.19	3.17
15.09.2023	13:01:30	22.8	7.055	848.98	8.330	851.71	2.73
15.09.2023	13:03:00	23.1	7.048	848.21	8.329	850.86	2.65
15.09.2023	13:04:30	23.2	7.077	851.95	8.327	854.37	2.42
15.09.2023	13:06:00	23.2	7.112	855.54	8.333	858.59	3.05
15.09.2023	13:07:30	23.1	7.100	854.21	8.332	857.14	2.93
15.09.2023	13:09:00	23.0	7.102	854.87	8.327	857.38	2.51
15.09.2023	13:10:30	22.8	7.039	848.00	8.320	849.78	1.78
15.09.2023	13:12:00	22.8	6.961	838.13	8.325	840.36	2.23
15.09.2023	13:13:30	22.9	6.947	836.86	8.321	838.67	1.81
20.09.2023	10:05:00	18.6	7.986	961.09	8.301	960.86	-0.23
20.09.2023	10:06:30	18.8	7.985	959.04	8.318	960.74	1.70
20.09.2023	10:08:00	18.6	8.002	962.04	8.309	962.79	0.75
20.09.2023	10:09:30	18.8	7.995	960.84	8.313	961.94	1.10
20.09.2023	10:11:00	18.8	8.002	961.59	8.313	962.79	1.20
20.09.2023	10:12:30	18.6	8.021	964.56	8.307	965.07	0.51
20.09.2023	10:14:00	18.9	8.021	963.91	8.313	965.07	1.16
20.09.2023	10:15:30	18.9	8.017	964.43	8.304	964.59	0.16
20.09.2023	10:17:00	18.7	8.026	965.47	8.305	965.67	0.20
20.09.2023	10:18:30	18.8	8.043	967.80	8.302	967.72	-0.08
20.09.2023	10:35:00	19.0	8.077	971.14	8.311	972.09	0.95
20.09.2023	10:36:30	18.9	8.076	968.86	8.330	971.97	3.11
20.09.2023	10:38:00	19.1	8.094	972.30	8.319	974.13	1.83
20.09.2023	10:39:30	19.2	8.105	970.92	8.342	975.46	4.54
20.09.2023	10:41:00	19.1	8.100	972.55	8.323	974.86	2.31
20.09.2023	10:42:30	19.2	8.093	973.58	8.307	974.01	0.43
20.09.2023	10:44:00	19.1	8.114	975.69	8.310	976.54	0.85
20.09.2023	10:45:30	19.2	8.115	975.96	8.309	976.66	0.70
20.09.2023	10:47:00	19.1	8.112	974.94	8.315	976.30	1.36
20.09.2023	10:48:30	19.2	8.134	978.48	8.307	978.95	0.47
20.09.2023	11:05:00	20.1	8.137	980.09	8.303	980.04	-0.05
20.09.2023	11:06:30	20.1	8.127	977.75	8.312	978.83	1.08
20.09.2023	11:08:00	20.0	8.138	979.78	8.306	980.16	0.38
20.09.2023	11:09:30	20.2	8.147	981.16	8.304	981.24	0.08
20.09.2023	11:11:00	20.3	8.145	979.87	8.313	981.00	1.13
20.09.2023	11:12:30	20.0	8.174	981.91	8.325	984.49	2.58
20.09.2023	11:14:00	20.0	8.168	985.21	8.291	983.77	-1.44
20.09.2023	11:15:30	19.9	8.153	983.00	8.294	981.97	-1.03
20.09.2023	11:17:00	20.1	8.171	985.41	8.292	984.13	-1.28

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
20.09.2023	11:18:30	19.7	8.190	987.19	8.297	986.42	-0.77
20.09.2023	11:35:00	20.0	8.203	989.02	8.295	988.01	-1.01
20.09.2023	11:36:30	19.9	8.187	986.01	8.304	986.08	0.07
20.09.2023	11:38:00	20.1	8.194	987.60	8.297	986.93	-0.67
20.09.2023	11:39:30	20.0	8.188	988.45	8.284	986.20	-2.25
20.09.2023	11:41:00	20.1	8.197	988.41	8.294	987.29	-1.12
20.09.2023	11:42:30	20.1	8.190	986.91	8.299	986.45	-0.46
20.09.2023	11:44:00	20.1	8.196	987.50	8.300	987.17	-0.33
20.09.2023	11:45:30	20.3	8.181	987.56	8.285	985.36	-2.20
20.09.2023	11:47:00	20.0	8.219	991.00	8.294	989.94	-1.06
20.09.2023	11:48:30	20.1	8.192	988.16	8.291	986.69	-1.47
20.09.2023	12:05:00	20.4	8.168	985.43	8.294	984.36	-1.07
20.09.2023	12:06:30	20.6	8.204	988.89	8.301	988.70	-0.19
20.09.2023	12:08:00	20.5	8.174	985.83	8.297	985.09	-0.74
20.09.2023	12:09:30	20.9	8.170	985.39	8.296	984.60	-0.79
20.09.2023	12:11:00	21.0	8.169	984.72	8.301	984.48	-0.24
20.09.2023	12:12:30	20.8	8.170	985.27	8.297	984.60	-0.67
20.09.2023	12:14:00	21.0	8.168	984.62	8.301	984.36	-0.26
20.09.2023	12:15:30	21.1	8.149	981.45	8.308	982.07	0.62
20.09.2023	12:17:00	20.6	8.145	983.00	8.291	981.59	-1.41
20.09.2023	12:18:30	21.0	8.161	983.09	8.307	983.52	0.43
20.09.2023	12:35:00	21.7	8.119	980.59	8.292	979.30	-1.29
20.09.2023	12:36:30	22.0	8.124	980.60	8.297	979.90	-0.70
20.09.2023	12:38:00	22.1	8.131	981.22	8.299	980.74	-0.48
20.09.2023	12:39:30	21.8	8.119	979.76	8.299	979.30	-0.46
20.09.2023	12:41:00	21.5	8.097	976.86	8.301	976.64	-0.22
20.09.2023	12:42:30	21.7	8.083	975.14	8.301	974.95	-0.19
20.09.2023	12:44:00	22.0	8.058	972.60	8.297	971.94	-0.66
20.09.2023	12:45:30	22.2	8.043	971.72	8.289	970.13	-1.59
20.09.2023	12:47:00	22.1	8.047	972.50	8.287	970.61	-1.89
20.09.2023	12:48:30	21.5	8.025	969.47	8.290	967.96	-1.51
20.09.2023	13:05:00	21.6	7.970	962.43	8.293	961.25	-1.18
20.09.2023	13:06:30	21.7	7.966	961.70	8.295	960.77	-0.93
20.09.2023	13:08:00	21.9	7.969	961.93	8.296	961.13	-0.80
20.09.2023	13:09:30	21.9	7.973	963.06	8.290	961.61	-1.45
20.09.2023	13:11:00	21.7	7.955	959.78	8.300	959.44	-0.34
20.09.2023	13:12:30	21.7	7.934	957.52	8.298	956.91	-0.61
20.09.2023	13:14:00	21.9	7.947	959.72	8.292	958.47	-1.25
20.09.2023	13:15:30	22.1	7.942	958.25	8.300	957.87	-0.38
20.09.2023	13:17:00	21.6	7.948	960.49	8.287	958.59	-1.90
20.09.2023	13:18:30	21.5	7.912	954.93	8.297	954.25	-0.68
20.09.2023	13:35:00	21.6	7.777	938.12	8.297	937.48	-0.64
20.09.2023	13:36:30	21.3	7.740	932.99	8.303	933.02	0.03
20.09.2023	13:38:00	21.1	7.722	930.77	8.304	930.85	0.08
20.09.2023	13:39:30	21.1	7.806	941.97	8.294	940.98	-0.99
20.09.2023	13:41:00	21.2	7.787	939.91	8.292	938.69	-1.22

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
20.09.2023	13:42:30	21.0	7.787	939.42	8.297	938.69	-0.73
20.09.2023	13:44:00	21.0	7.812	940.82	8.311	941.70	0.88
20.09.2023	13:45:30	20.8	7.782	938.17	8.302	938.08	-0.09
20.09.2023	13:47:00	21.0	7.770	936.44	8.305	936.64	0.20
20.09.2023	13:48:30	21.0	7.744	933.65	8.302	933.50	-0.15
20.09.2023	14:05:00	20.4	7.662	922.66	8.308	923.26	0.60
20.09.2023	14:06:30	20.5	7.662	923.31	8.303	923.26	-0.05
20.09.2023	14:08:00	20.8	7.620	918.87	8.297	918.20	-0.67
20.09.2023	14:09:30	20.6	7.620	918.08	8.304	918.20	0.12
20.09.2023	14:11:00	20.7	7.649	920.55	8.313	921.70	1.15
20.09.2023	14:12:30	20.4	7.627	918.54	8.308	919.05	0.51
20.09.2023	14:14:00	20.4	7.610	915.88	8.313	917.00	1.12
20.09.2023	14:15:30	20.7	7.604	915.82	8.307	916.28	0.46
20.09.2023	14:17:00	20.8	7.563	910.47	8.311	911.33	0.86
20.09.2023	14:18:30	21.0	7.535	907.22	8.310	907.96	0.74
22.09.2023	10:30:00	18.8	7.636	919.06	8.305	919.28	0.22
22.09.2023	10:33:00	19.0	7.647	920.59	8.303	920.60	0.01
22.09.2023	10:34:30	19.4	7.656	922.72	8.294	921.69	-1.03
22.09.2023	10:36:00	19.6	7.663	923.01	8.299	922.53	-0.48
22.09.2023	10:37:30	19.5	7.660	923.21	8.294	922.17	-1.04
22.09.2023	10:39:00	19.5	7.667	923.10	8.302	923.01	-0.09
22.09.2023	10:40:30	19.5	7.656	923.22	8.289	921.69	-1.53
22.09.2023	10:42:00	19.5	7.657	922.62	8.296	921.81	-0.81
22.09.2023	10:43:30	19.8	7.656	922.62	8.295	921.69	-0.93
22.09.2023	10:45:00	20.1	7.647	921.46	8.295	920.60	-0.86
22.09.2023	11:00:00	20.3	7.643	921.04	8.300	920.72	-0.32
22.09.2023	11:01:30	20.2	7.640	920.79	8.299	920.36	-0.43
22.09.2023	11:03:00	20.4	7.623	917.94	8.306	918.31	0.37
22.09.2023	11:04:30	20.3	7.636	920.78	8.295	919.88	-0.90
22.09.2023	11:06:00	20.5	7.636	920.58	8.297	919.88	-0.70
22.09.2023	11:07:30	20.5	7.622	919.54	8.291	918.19	-1.35
22.09.2023	11:09:00	20.2	7.613	917.73	8.297	917.11	-0.62
22.09.2023	11:10:30	20.3	7.642	920.55	8.303	920.60	0.05
22.09.2023	11:12:00	20.1	7.679	925.70	8.297	925.06	-0.64
22.09.2023	11:13:30	20.1	7.649	920.86	8.308	921.45	0.59
22.09.2023	11:30:00	21.1	7.646	920.97	8.309	921.59	0.62
22.09.2023	11:31:30	21.0	7.634	920.25	8.302	920.15	-0.10
22.09.2023	11:33:00	20.9	7.637	919.73	8.310	920.51	0.78
22.09.2023	11:34:30	20.8	7.656	921.68	8.313	922.80	1.12
22.09.2023	11:36:00	20.8	7.662	923.70	8.301	923.52	-0.18
22.09.2023	11:37:30	20.7	7.664	923.17	8.308	923.76	0.59
22.09.2023	11:39:00	20.9	7.681	924.90	8.311	925.81	0.91
22.09.2023	11:40:30	21.1	7.661	923.90	8.299	923.40	-0.50
22.09.2023	11:42:00	21.2	7.685	925.56	8.310	926.30	0.74
22.09.2023	11:43:30	21.3	7.676	926.24	8.294	925.21	-1.03
22.09.2023	12:00:00	20.2	7.632	919.95	8.298	919.40	-0.55

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
22.09.2023	12:01:30	20.3	7.638	921.28	8.293	920.12	-1.16
22.09.2023	12:03:00	20.3	7.656	921.11	8.314	922.29	1.18
22.09.2023	12:04:30	20.3	7.638	920.61	8.299	920.12	-0.49
22.09.2023	12:06:00	20.3	7.677	925.78	8.294	924.82	-0.96
22.09.2023	12:07:30	20.3	7.654	923.94	8.286	922.05	-1.89
22.09.2023	12:09:00	20.3	7.659	923.31	8.297	922.65	-0.66
22.09.2023	12:10:30	20.3	7.644	921.91	8.293	920.84	-1.07
22.09.2023	12:12:00	20.3	7.653	923.46	8.289	921.93	-1.53
22.09.2023	12:13:30	20.3	7.661	923.80	8.295	922.89	-0.91
22.09.2023	12:30:00	21.2	7.636	921.79	8.295	920.93	-0.86
22.09.2023	12:31:30	21.2	7.676	925.40	8.306	925.75	0.35
22.09.2023	12:33:00	21.2	7.664	923.56	8.310	924.30	0.74
22.09.2023	12:34:30	21.2	7.627	920.35	8.298	919.84	-0.51
22.09.2023	12:36:00	21.2	7.645	921.35	8.309	922.01	0.66
22.09.2023	12:37:30	22.6	7.621	918.78	8.306	919.12	0.34
22.09.2023	12:39:00	22.2	7.612	918.17	8.302	918.03	-0.14
22.09.2023	12:40:30	22.1	7.610	918.79	8.294	917.79	-1.00
22.09.2023	12:42:00	22.0	7.630	920.13	8.304	920.20	0.07
22.09.2023	12:43:30	22.2	7.594	916.72	8.295	915.86	-0.86

Таблица 2 – Актинометр М-3 № 133

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
11.09.2023	10:05:00	15.0	9.640	936.75	10.255	938.37	1.62
11.09.2023	10:06:30	15.2	9.638	937.50	10.244	938.18	0.68
11.09.2023	10:08:00	15.4	9.621	935.08	10.253	936.52	1.44
11.09.2023	10:09:30	15.5	9.622	937.03	10.233	936.62	-0.41
11.09.2023	10:11:00	15.8	9.639	937.91	10.241	938.27	0.36
11.09.2023	10:12:30	15.7	9.640	938.19	10.239	938.37	0.18
11.09.2023	10:14:00	15.6	9.644	937.92	10.246	938.76	0.84
11.09.2023	10:15:30	15.9	9.645	939.20	10.233	938.86	-0.34
11.09.2023	10:17:00	16.1	9.621	937.14	10.230	936.52	-0.62
11.09.2023	10:18:30	15.7	9.636	937.65	10.241	937.98	0.33
11.09.2023	10:35:00	16.1	9.704	945.18	10.238	945.26	0.08
11.09.2023	10:36:30	16.4	9.704	944.98	10.240	945.26	0.28
11.09.2023	10:38:00	16.6	9.727	947.41	10.238	947.50	0.09
11.09.2023	10:39:30	16.5	9.721	946.78	10.238	946.91	0.13
11.09.2023	10:41:00	16.4	9.719	946.37	10.241	946.72	0.35
11.09.2023	10:42:30	16.5	9.706	945.07	10.241	945.45	0.38
11.09.2023	10:44:00	16.6	9.730	947.95	10.235	947.79	-0.16
11.09.2023	10:45:30	16.5	9.739	948.63	10.237	948.67	0.04
11.09.2023	10:47:00	16.5	9.765	950.96	10.240	951.20	0.24
11.09.2023	10:48:30	16.5	9.764	951.26	10.235	951.10	-0.16
15.09.2023	10:00:00	20.1	9.005	878.38	10.252	879.71	1.33
15.09.2023	10:01:30	20.4	9.015	878.84	10.258	880.69	1.85
15.09.2023	10:03:00	20.2	9.029	879.98	10.261	882.05	2.07

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
15.09.2023	10:04:30	20.2	9.039	880.94	10.261	883.03	2.09
15.09.2023	10:06:00	19.9	9.054	882.71	10.258	884.50	1.79
15.09.2023	10:07:30	19.8	9.071	884.55	10.256	886.16	1.61
15.09.2023	10:09:00	19.9	9.074	885.48	10.248	886.45	0.97
15.09.2023	10:10:30	19.9	9.086	887.21	10.242	887.62	0.41
15.09.2023	10:12:00	20.2	9.087	887.33	10.241	887.72	0.39
15.09.2023	10:13:30	20.2	9.093	887.99	10.241	888.31	0.32
15.09.2023	10:30:00	20.9	9.079	887.19	10.242	887.66	0.47
15.09.2023	10:31:30	21.1	9.116	891.01	10.240	891.28	0.27
15.09.2023	10:33:00	21.1	9.108	889.56	10.248	890.50	0.94
15.09.2023	10:34:30	21.0	9.092	887.83	10.250	888.93	1.10
15.09.2023	10:36:00	21.1	9.098	888.63	10.247	889.52	0.89
15.09.2023	10:37:30	21.3	9.101	888.41	10.253	889.81	1.40
15.09.2023	10:39:00	21.1	9.105	888.80	10.253	890.20	1.40
15.09.2023	10:40:30	21.2	9.103	889.84	10.239	890.01	0.17
15.09.2023	10:42:00	21.1	9.139	893.42	10.238	893.53	0.11
15.09.2023	10:43:30	21.1	9.192	898.40	10.241	898.71	0.31
15.09.2023	11:00:00	20.9	9.035	881.04	10.264	883.38	2.34
15.09.2023	11:01:30	21.0	9.026	881.32	10.251	882.50	1.18
15.09.2023	11:03:00	21.0	9.081	887.61	10.240	887.88	0.27
15.09.2023	11:04:30	21.0	9.113	889.59	10.253	891.01	1.42
15.09.2023	11:06:00	21.0	9.142	892.03	10.258	893.84	1.81
15.09.2023	11:07:30	21.4	9.144	892.42	10.256	894.04	1.62
15.09.2023	11:09:00	21.3	9.117	890.65	10.246	891.40	0.75
15.09.2023	11:10:30	21.1	9.112	889.81	10.250	890.91	1.10
15.09.2023	11:12:00	21.2	9.112	889.43	10.254	890.91	1.48
15.09.2023	11:13:30	21.4	9.122	891.16	10.245	891.89	0.73
15.09.2023	11:30:00	21.0	9.211	898.90	10.262	901.12	2.22
15.09.2023	11:31:30	21.3	9.201	897.78	10.264	900.15	2.37
15.09.2023	11:33:00	21.3	9.199	897.72	10.262	899.95	2.23
15.09.2023	11:34:30	21.6	9.195	897.07	10.265	899.56	2.49
15.09.2023	11:36:00	21.7	9.181	895.23	10.271	898.19	2.96
15.09.2023	11:37:30	21.7	9.201	898.12	10.260	900.15	2.03
15.09.2023	11:39:00	22.1	9.211	899.29	10.258	901.12	1.83
15.09.2023	11:40:30	22.4	9.204	898.92	10.254	900.44	1.52
15.09.2023	11:42:00	22.7	9.197	899.06	10.245	899.75	0.69
15.09.2023	11:43:30	22.9	9.170	896.45	10.245	897.11	0.66
15.09.2023	12:00:00	21.3	9.185	898.13	10.244	898.75	0.62
15.09.2023	12:01:30	21.3	9.200	899.05	10.250	900.21	1.16
15.09.2023	12:03:00	21.7	9.227	900.50	10.264	902.86	2.36
15.09.2023	12:04:30	22.0	9.177	896.50	10.254	897.96	1.46
15.09.2023	12:06:00	22.3	9.138	892.11	10.260	894.15	2.04
15.09.2023	12:07:30	22.5	9.071	885.12	10.266	887.59	2.47
15.09.2023	12:09:00	22.5	9.040	883.29	10.252	884.56	1.27
15.09.2023	12:10:30	22.4	9.053	885.08	10.246	885.83	0.75
15.09.2023	12:12:00	22.5	9.048	884.74	10.244	885.34	0.60

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
15.09.2023	12:13:30	22.5	9.025	882.92	10.239	883.09	0.17
15.09.2023	12:30:00	22.9	8.947	875.87	10.233	875.51	-0.36
15.09.2023	12:31:30	22.6	8.930	873.54	10.241	873.85	0.31
15.09.2023	12:33:00	22.4	8.941	874.72	10.239	874.93	0.21
15.09.2023	12:34:30	21.9	8.971	877.96	10.236	877.86	-0.10
15.09.2023	12:36:00	21.9	8.994	879.78	10.241	880.11	0.33
15.09.2023	12:37:30	22.2	9.012	880.99	10.247	881.87	0.88
15.09.2023	12:39:00	22.5	8.983	878.24	10.246	879.04	0.80
15.09.2023	12:40:30	22.2	8.982	877.77	10.251	878.94	1.17
15.09.2023	12:42:00	21.9	8.970	876.74	10.249	877.76	1.02
15.09.2023	12:43:30	21.3	8.989	878.44	10.251	879.62	1.18
15.09.2023	13:00:00	22.7	8.697	849.02	10.268	851.58	2.56
15.09.2023	13:01:30	22.8	8.692	848.98	10.262	851.09	2.11
15.09.2023	13:03:00	23.1	8.682	848.21	10.260	850.11	1.90
15.09.2023	13:04:30	23.2	8.719	851.95	10.258	853.74	1.79
15.09.2023	13:06:00	23.2	8.758	855.54	10.261	857.55	2.01
15.09.2023	13:07:30	23.1	8.745	854.21	10.262	856.28	2.07
15.09.2023	13:09:00	23.0	8.745	854.87	10.254	856.28	1.41
15.09.2023	13:10:30	22.8	8.670	848.00	10.248	848.94	0.94
15.09.2023	13:12:00	22.8	8.572	838.13	10.252	839.34	1.21
15.09.2023	13:13:30	22.9	8.559	836.86	10.252	838.07	1.21
20.09.2023	10:05:00	18.6	9.850	961.09	10.239	961.23	0.14
20.09.2023	10:06:30	18.8	9.844	959.04	10.254	960.65	1.61
20.09.2023	10:08:00	18.6	9.867	962.04	10.246	962.89	0.85
20.09.2023	10:09:30	18.8	9.850	960.84	10.241	961.23	0.39
20.09.2023	10:11:00	18.8	9.863	961.59	10.247	962.50	0.91
20.09.2023	10:12:30	18.6	9.889	964.56	10.242	965.04	0.48
20.09.2023	10:14:00	18.9	9.888	963.91	10.248	964.94	1.03
20.09.2023	10:15:30	18.9	9.883	964.43	10.237	964.46	0.03
20.09.2023	10:17:00	18.7	9.895	965.47	10.239	965.63	0.16
20.09.2023	10:18:30	18.8	9.918	967.80	10.238	967.87	0.07
20.09.2023	10:35:00	19.0	9.956	971.14	10.245	971.86	0.72
20.09.2023	10:36:30	18.9	9.957	968.86	10.270	971.96	3.10
20.09.2023	10:38:00	19.1	9.982	972.30	10.259	974.40	2.10
20.09.2023	10:39:30	19.2	9.994	970.92	10.286	975.57	4.65
20.09.2023	10:41:00	19.1	9.990	972.55	10.265	975.18	2.63
20.09.2023	10:42:30	19.2	9.979	973.58	10.243	974.10	0.52
20.09.2023	10:44:00	19.1	10.005	975.69	10.247	976.64	0.95
20.09.2023	10:45:30	19.2	10.003	975.96	10.242	976.45	0.49
20.09.2023	10:47:00	19.1	10.000	974.94	10.250	976.15	1.21
20.09.2023	10:48:30	19.2	10.030	978.48	10.243	979.08	0.60
20.09.2023	11:05:00	20.1	10.029	980.09	10.233	979.71	-0.38
20.09.2023	11:06:30	20.1	10.013	977.75	10.241	978.15	0.40
20.09.2023	11:08:00	20.0	10.029	979.78	10.236	979.71	-0.07
20.09.2023	11:09:30	20.2	10.039	981.16	10.232	980.69	-0.47
20.09.2023	11:11:00	20.3	10.035	979.87	10.241	980.30	0.43

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
20.09.2023	11:12:30	20.0	10.072	981.91	10.258	983.91	2.00
20.09.2023	11:14:00	20.0	10.064	985.21	10.215	983.13	-2.08
20.09.2023	11:15:30	19.9	10.048	983.00	10.222	981.57	-1.43
20.09.2023	11:17:00	20.1	10.070	985.41	10.219	983.72	-1.69
20.09.2023	11:18:30	19.7	10.092	987.19	10.223	985.87	-1.32
20.09.2023	11:35:00	20.0	10.112	989.02	10.225	987.84	-1.18
20.09.2023	11:36:30	19.9	10.092	986.01	10.236	985.89	-0.12
20.09.2023	11:38:00	20.1	10.104	987.60	10.231	987.06	-0.54
20.09.2023	11:39:30	20.0	10.101	988.45	10.220	986.77	-1.68
20.09.2023	11:41:00	20.1	10.102	988.41	10.221	986.87	-1.54
20.09.2023	11:42:30	20.1	10.096	986.91	10.230	986.28	-0.63
20.09.2023	11:44:00	20.1	10.101	987.50	10.229	986.77	-0.73
20.09.2023	11:45:30	20.3	10.088	987.56	10.216	985.50	-2.06
20.09.2023	11:47:00	20.0	10.134	991.00	10.227	989.99	-1.01
20.09.2023	11:48:30	20.1	10.098	988.16	10.220	986.48	-1.68
20.09.2023	12:05:00	20.4	10.071	985.43	10.226	984.41	-1.02
20.09.2023	12:06:30	20.6	10.112	988.89	10.232	988.41	-0.48
20.09.2023	12:08:00	20.5	10.079	985.83	10.230	985.19	-0.64
20.09.2023	12:09:30	20.9	10.071	985.39	10.227	984.41	-0.98
20.09.2023	12:11:00	21.0	10.071	984.72	10.234	984.41	-0.31
20.09.2023	12:12:30	20.8	10.069	985.27	10.226	984.21	-1.06
20.09.2023	12:14:00	21.0	10.066	984.62	10.230	983.92	-0.70
20.09.2023	12:15:30	21.1	10.045	981.45	10.241	981.87	0.42
20.09.2023	12:17:00	20.6	10.039	983.00	10.219	981.28	-1.72
20.09.2023	12:18:30	21.0	10.057	983.09	10.236	983.04	-0.05
20.09.2023	12:35:00	21.7	9.998	980.59	10.211	978.11	-2.48
20.09.2023	12:36:30	22.0	10.008	980.60	10.221	979.09	-1.51
20.09.2023	12:38:00	22.1	10.013	981.22	10.220	979.58	-1.64
20.09.2023	12:39:30	21.8	9.998	979.76	10.220	978.11	-1.65
20.09.2023	12:41:00	21.5	9.970	976.86	10.221	975.37	-1.49
20.09.2023	12:42:30	21.7	9.952	975.14	10.221	973.61	-1.53
20.09.2023	12:44:00	22.0	9.921	972.60	10.216	970.58	-2.02
20.09.2023	12:45:30	22.2	9.902	971.72	10.205	968.72	-3.00
20.09.2023	12:47:00	22.1	9.906	972.50	10.201	969.11	-3.39
20.09.2023	12:48:30	21.5	9.884	969.47	10.210	966.96	-2.51
20.09.2023	13:05:00	21.6	9.814	962.43	10.211	960.03	-2.40
20.09.2023	13:06:30	21.7	9.811	961.70	10.216	959.74	-1.96
20.09.2023	13:08:00	21.9	9.814	961.93	10.217	960.03	-1.90
20.09.2023	13:09:30	21.9	9.817	963.06	10.208	960.32	-2.74
20.09.2023	13:11:00	21.7	9.794	959.78	10.219	958.07	-1.71
20.09.2023	13:12:30	21.7	9.772	957.52	10.220	955.92	-1.60
20.09.2023	13:14:00	21.9	9.786	959.72	10.211	957.29	-2.43
20.09.2023	13:15:30	22.1	9.775	958.25	10.215	956.22	-2.03
20.09.2023	13:17:00	21.6	9.791	960.49	10.208	957.78	-2.71
20.09.2023	13:18:30	21.5	9.745	954.93	10.219	953.28	-1.65
20.09.2023	13:35:00	21.6	9.578	938.12	10.219	936.46	-1.66

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
20.09.2023	13:36:30	21.3	9.530	932.99	10.224	931.76	-1.23
20.09.2023	13:38:00	21.1	9.513	930.77	10.230	930.10	-0.67
20.09.2023	13:39:30	21.1	9.616	941.97	10.217	940.17	-1.80
20.09.2023	13:41:00	21.2	9.594	939.91	10.216	938.02	-1.89
20.09.2023	13:42:30	21.0	9.593	939.42	10.221	937.92	-1.50
20.09.2023	13:44:00	21.0	9.622	940.82	10.236	940.76	-0.06
20.09.2023	13:45:30	20.8	9.589	938.17	10.230	937.53	-0.64
20.09.2023	13:47:00	21.0	9.571	936.44	10.230	935.77	-0.67
20.09.2023	13:48:30	21.0	9.543	933.65	10.230	933.04	-0.61
20.09.2023	14:05:00	20.4	9.439	922.66	10.235	922.51	-0.15
20.09.2023	14:06:30	20.5	9.442	923.31	10.231	922.81	-0.50
20.09.2023	14:08:00	20.8	9.390	918.87	10.224	917.72	-1.15
20.09.2023	14:09:30	20.6	9.387	918.08	10.230	917.43	-0.65
20.09.2023	14:11:00	20.7	9.423	920.55	10.241	920.95	0.40
20.09.2023	14:12:30	20.4	9.398	918.54	10.237	918.51	-0.03
20.09.2023	14:14:00	20.4	9.376	915.88	10.242	916.36	0.48
20.09.2023	14:15:30	20.7	9.367	915.82	10.233	915.48	-0.34
20.09.2023	14:17:00	20.8	9.318	910.47	10.239	910.69	0.22
20.09.2023	14:18:30	21.0	9.279	907.22	10.233	906.87	-0.35
22.09.2023	10:30:00	18.8	9.419	919.06	10.244	919.70	0.64
22.09.2023	10:33:00	19.0	9.427	920.59	10.236	920.48	-0.11
22.09.2023	10:34:30	19.4	9.441	922.72	10.227	921.85	-0.87
22.09.2023	10:36:00	19.6	9.451	923.01	10.235	922.83	-0.18
22.09.2023	10:37:30	19.5	9.448	923.21	10.230	922.54	-0.67
22.09.2023	10:39:00	19.5	9.451	923.10	10.234	922.83	-0.27
22.09.2023	10:40:30	19.5	9.441	923.22	10.222	921.85	-1.37
22.09.2023	10:42:00	19.5	9.442	922.62	10.230	921.95	-0.67
22.09.2023	10:43:30	19.8	9.437	922.62	10.224	921.46	-1.16
22.09.2023	10:45:00	20.1	9.426	921.46	10.225	920.39	-1.07
22.09.2023	11:00:00	20.3	9.414	921.04	10.223	919.82	-1.22
22.09.2023	11:01:30	20.2	9.415	920.79	10.227	919.92	-0.87
22.09.2023	11:03:00	20.4	9.393	917.94	10.235	917.77	-0.17
22.09.2023	11:04:30	20.3	9.408	920.78	10.220	919.23	-1.55
22.09.2023	11:06:00	20.5	9.412	920.58	10.226	919.62	-0.96
22.09.2023	11:07:30	20.5	9.393	919.54	10.217	917.77	-1.77
22.09.2023	11:09:00	20.2	9.383	917.73	10.227	916.79	-0.94
22.09.2023	11:10:30	20.3	9.416	920.55	10.231	920.01	-0.54
22.09.2023	11:12:00	20.1	9.460	925.70	10.222	924.31	-1.39
22.09.2023	11:13:30	20.1	9.418	920.86	10.230	920.21	-0.65
22.09.2023	11:30:00	21.1	9.423	920.97	10.240	921.21	0.24
22.09.2023	11:31:30	21.0	9.408	920.25	10.231	919.74	-0.51
22.09.2023	11:33:00	20.9	9.414	919.73	10.244	920.33	0.60
22.09.2023	11:34:30	20.8	9.439	921.68	10.249	922.77	1.09
22.09.2023	11:36:00	20.8	9.444	923.70	10.232	923.26	-0.44
22.09.2023	11:37:30	20.7	9.442	923.17	10.236	923.06	-0.11
22.09.2023	11:39:00	20.9	9.465	924.90	10.242	925.31	0.41

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K ₂₀ , мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
22.09.2023	11:40:30	21.1	9.441	923.90	10.227	922.97	-0.93
22.09.2023	11:42:00	21.2	9.466	925.56	10.235	925.41	-0.15
22.09.2023	11:43:30	21.3	9.458	926.24	10.219	924.63	-1.61
22.09.2023	12:00:00	20.2	9.406	919.95	10.227	919.04	-0.91
22.09.2023	12:01:30	20.3	9.413	921.28	10.220	919.72	-1.56
22.09.2023	12:03:00	20.3	9.435	921.11	10.245	921.87	0.76
22.09.2023	12:04:30	20.3	9.415	920.61	10.229	919.92	-0.69
22.09.2023	12:06:00	20.3	9.463	925.78	10.224	924.61	-1.17
22.09.2023	12:07:30	20.3	9.433	923.94	10.212	921.68	-2.26
22.09.2023	12:09:00	20.3	9.439	923.31	10.225	922.26	-1.05
22.09.2023	12:10:30	20.3	9.419	921.91	10.219	920.31	-1.60
22.09.2023	12:12:00	20.3	9.430	923.46	10.214	921.38	-2.08
22.09.2023	12:13:30	20.3	9.431	923.80	10.211	921.48	-2.32
22.09.2023	12:30:00	21.2	9.409	921.79	10.221	920.38	-1.41
22.09.2023	12:31:30	21.2	9.455	925.40	10.231	924.88	-0.52
22.09.2023	12:33:00	21.2	9.439	923.56	10.234	923.31	-0.25
22.09.2023	12:34:30	21.2	9.394	920.35	10.221	918.91	-1.44
22.09.2023	12:36:00	21.2	9.419	921.35	10.237	921.35	0.00
22.09.2023	12:37:30	22.6	9.383	918.78	10.226	917.83	-0.95
22.09.2023	12:39:00	22.2	9.377	918.17	10.227	917.25	-0.92
22.09.2023	12:40:30	22.1	9.371	918.79	10.213	916.66	-2.13
22.09.2023	12:42:00	22.0	9.397	920.13	10.227	919.20	-0.93
22.09.2023	12:43:30	22.2	9.351	916.72	10.214	914.70	-2.02

Таблица 3 – Актинометр СФ-12 № 26265001

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
11.09.2023	10:05:00	15.0	6.259	936.75	6.682	940.35	3.60
11.09.2023	10:06:30	15.2	6.261	937.50	6.678	940.66	3.16
11.09.2023	10:08:00	15.4	6.250	935.08	6.684	939.00	3.92
11.09.2023	10:09:30	15.5	6.251	937.03	6.671	939.15	2.12
11.09.2023	10:11:00	15.8	6.261	937.91	6.675	940.66	2.75
11.09.2023	10:12:30	15.7	6.265	938.19	6.678	941.26	3.07
11.09.2023	10:14:00	15.6	6.263	937.92	6.678	940.96	3.04
11.09.2023	10:15:30	15.9	6.271	939.20	6.677	942.16	2.96
11.09.2023	10:17:00	16.1	6.252	937.14	6.671	939.30	2.16
11.09.2023	10:18:30	15.7	6.264	937.65	6.681	941.11	3.46
11.09.2023	10:35:00	16.1	6.306	945.18	6.672	947.42	2.24
11.09.2023	10:36:30	16.4	6.305	944.98	6.672	947.27	2.29
11.09.2023	10:38:00	16.6	6.322	947.41	6.673	949.82	2.41
11.09.2023	10:39:30	16.5	6.316	946.78	6.671	948.92	2.14
11.09.2023	10:41:00	16.4	6.314	946.37	6.672	948.62	2.25
11.09.2023	10:42:30	16.5	6.306	945.07	6.673	947.42	2.35
11.09.2023	10:44:00	16.6	6.321	947.95	6.668	949.67	1.72
11.09.2023	10:45:30	16.5	6.329	948.63	6.672	950.87	2.24
11.09.2023	10:47:00	16.5	6.345	950.96	6.672	953.28	2.32

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
11.09.2023	10:48:30	16.5	6.347	951.26	6.672	953.58	2.32
15.09.2023	10:00:00	20.1	5.860	878.38	6.671	880.41	2.03
15.09.2023	10:01:30	20.4	5.867	878.84	6.676	881.46	2.62
15.09.2023	10:03:00	20.2	5.876	879.98	6.677	882.81	2.83
15.09.2023	10:04:30	20.2	5.886	880.94	6.681	884.31	3.37
15.09.2023	10:06:00	19.9	5.896	882.71	6.679	885.82	3.11
15.09.2023	10:07:30	19.8	5.908	884.55	6.679	887.62	3.07
15.09.2023	10:09:00	19.9	5.909	885.48	6.673	887.77	2.29
15.09.2023	10:10:30	19.9	5.916	887.21	6.668	888.82	1.61
15.09.2023	10:12:00	20.2	5.914	887.33	6.665	888.52	1.19
15.09.2023	10:13:30	20.2	5.916	887.99	6.662	888.82	0.83
15.09.2023	10:30:00	20.9	5.915	887.19	6.667	888.67	1.48
15.09.2023	10:31:30	21.1	5.932	891.01	6.658	891.23	0.22
15.09.2023	10:33:00	21.1	5.931	889.56	6.667	891.08	1.52
15.09.2023	10:34:30	21.0	5.918	887.83	6.666	889.12	1.29
15.09.2023	10:36:00	21.1	5.921	888.63	6.663	889.57	0.94
15.09.2023	10:37:30	21.3	5.928	888.41	6.673	890.63	2.22
15.09.2023	10:39:00	21.1	5.925	888.80	6.666	890.17	1.37
15.09.2023	10:40:30	21.2	5.925	889.84	6.659	890.17	0.33
15.09.2023	10:42:00	21.1	5.947	893.42	6.656	893.48	0.06
15.09.2023	10:43:30	21.1	5.980	898.40	6.656	898.44	0.04
15.09.2023	11:00:00	20.9	5.878	881.04	6.672	883.11	2.07
15.09.2023	11:01:30	21.0	5.879	881.32	6.671	883.26	1.94
15.09.2023	11:03:00	21.0	5.911	887.61	6.659	888.07	0.46
15.09.2023	11:04:30	21.0	5.933	889.59	6.669	891.38	1.79
15.09.2023	11:06:00	21.0	5.950	892.03	6.670	893.93	1.90
15.09.2023	11:07:30	21.4	5.953	892.42	6.671	894.38	1.96
15.09.2023	11:09:00	21.3	5.937	890.65	6.666	891.98	1.33
15.09.2023	11:10:30	21.1	5.935	889.81	6.670	891.68	1.87
15.09.2023	11:12:00	21.2	5.933	889.43	6.671	891.38	1.95
15.09.2023	11:13:30	21.4	5.938	891.16	6.663	892.13	0.97
15.09.2023	11:30:00	21.0	5.993	898.90	6.667	900.39	1.49
15.09.2023	11:31:30	21.3	5.987	897.78	6.669	899.49	1.71
15.09.2023	11:33:00	21.3	5.983	897.72	6.665	898.89	1.17
15.09.2023	11:34:30	21.6	5.984	897.07	6.671	899.04	1.97
15.09.2023	11:36:00	21.7	5.977	895.23	6.676	897.99	2.76
15.09.2023	11:37:30	21.7	5.988	898.12	6.667	899.64	1.52
15.09.2023	11:39:00	22.1	5.993	899.29	6.664	900.39	1.10
15.09.2023	11:40:30	22.4	5.987	898.92	6.660	899.49	0.57
15.09.2023	11:42:00	22.7	5.983	899.06	6.655	898.89	-0.17
15.09.2023	11:43:30	22.9	5.968	896.45	6.657	896.63	0.18
15.09.2023	12:00:00	21.3	5.984	898.13	6.663	899.04	0.91
15.09.2023	12:01:30	21.3	5.989	899.05	6.661	899.79	0.74
15.09.2023	12:03:00	21.7	6.003	900.50	6.666	901.89	1.39
15.09.2023	12:04:30	22.0	5.974	896.50	6.664	897.54	1.04
15.09.2023	12:06:00	22.3	5.953	892.11	6.673	894.38	2.27

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
15.09.2023	12:07:30	22.5	5.909	885.12	6.676	887.77	2.65
15.09.2023	12:09:00	22.5	5.888	883.29	6.666	884.62	1.33
15.09.2023	12:10:30	22.4	5.895	885.08	6.660	885.67	0.59
15.09.2023	12:12:00	22.5	5.893	884.74	6.661	885.37	0.63
15.09.2023	12:13:30	22.5	5.880	882.92	6.660	883.41	0.49
15.09.2023	12:30:00	22.9	5.835	875.87	6.662	876.65	0.78
15.09.2023	12:31:30	22.6	5.820	873.54	6.663	874.40	0.86
15.09.2023	12:33:00	22.4	5.827	874.72	6.662	875.45	0.73
15.09.2023	12:34:30	21.9	5.847	877.96	6.660	878.46	0.50
15.09.2023	12:36:00	21.9	5.863	879.78	6.664	880.86	1.08
15.09.2023	12:37:30	22.2	5.870	880.99	6.663	881.91	0.92
15.09.2023	12:39:00	22.5	5.852	878.24	6.663	879.21	0.97
15.09.2023	12:40:30	22.2	5.851	877.77	6.666	879.06	1.29
15.09.2023	12:42:00	21.9	5.843	876.74	6.664	877.85	1.11
15.09.2023	12:43:30	21.3	5.853	878.44	6.663	879.36	0.92
15.09.2023	13:00:00	22.7	5.671	849.02	6.679	852.01	2.99
15.09.2023	13:01:30	22.8	5.664	848.98	6.672	850.96	1.98
15.09.2023	13:03:00	23.1	5.659	848.21	6.672	850.21	2.00
15.09.2023	13:04:30	23.2	5.682	851.95	6.669	853.67	1.72
15.09.2023	13:06:00	23.2	5.710	855.54	6.674	857.87	2.33
15.09.2023	13:07:30	23.1	5.697	854.21	6.669	855.92	1.71
15.09.2023	13:09:00	23.0	5.702	854.87	6.670	856.67	1.80
15.09.2023	13:10:30	22.8	5.654	848.00	6.667	849.46	1.46
15.09.2023	13:12:00	22.8	5.591	838.13	6.671	839.99	1.86
15.09.2023	13:13:30	22.9	5.577	836.86	6.664	837.89	1.03
20.09.2023	10:05:00	18.6	6.391	961.09	6.650	960.19	-0.90
20.09.2023	10:06:30	18.8	6.386	959.04	6.659	959.44	0.40
20.09.2023	10:08:00	18.6	6.401	962.04	6.654	961.69	-0.35
20.09.2023	10:09:30	18.8	6.391	960.84	6.651	960.19	-0.65
20.09.2023	10:11:00	18.8	6.402	961.59	6.658	961.84	0.25
20.09.2023	10:12:30	18.6	6.417	964.56	6.653	964.09	-0.47
20.09.2023	10:14:00	18.9	6.417	963.91	6.657	964.09	0.18
20.09.2023	10:15:30	18.9	6.414	964.43	6.651	963.64	-0.79
20.09.2023	10:17:00	18.7	6.421	965.47	6.651	964.69	-0.78
20.09.2023	10:18:30	18.8	6.433	967.80	6.647	966.50	-1.30
20.09.2023	10:35:00	19.0	6.461	971.14	6.653	970.70	-0.44
20.09.2023	10:36:30	18.9	6.463	968.86	6.671	971.00	2.14
20.09.2023	10:38:00	19.1	6.478	972.30	6.663	973.26	0.96
20.09.2023	10:39:30	19.2	6.482	970.92	6.676	973.86	2.94
20.09.2023	10:41:00	19.1	6.479	972.55	6.662	973.41	0.86
20.09.2023	10:42:30	19.2	6.474	973.58	6.650	972.66	-0.92
20.09.2023	10:44:00	19.1	6.491	975.69	6.653	975.21	-0.48
20.09.2023	10:45:30	19.2	6.491	975.96	6.651	975.21	-0.75
20.09.2023	10:47:00	19.1	6.488	974.94	6.655	974.76	-0.18
20.09.2023	10:48:30	19.2	6.506	978.48	6.649	977.46	-1.02
20.09.2023	11:05:00	20.1	6.508	980.09	6.640	977.76	-2.33

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
20.09.2023	11:06:30	20.1	6.499	977.75	6.647	976.41	-1.34
20.09.2023	11:08:00	20.0	6.510	979.78	6.644	978.06	-1.72
20.09.2023	11:09:30	20.2	6.514	981.16	6.639	978.67	-2.49
20.09.2023	11:11:00	20.3	6.515	979.87	6.649	978.82	-1.05
20.09.2023	11:12:30	20.0	6.539	981.91	6.659	982.42	0.51
20.09.2023	11:14:00	20.0	6.531	985.21	6.629	981.22	-3.99
20.09.2023	11:15:30	19.9	6.525	983.00	6.638	980.32	-2.68
20.09.2023	11:17:00	20.1	6.536	985.41	6.633	981.97	-3.44
20.09.2023	11:18:30	19.7	6.553	987.19	6.638	984.53	-2.66
20.09.2023	11:35:00	20.0	6.563	989.02	6.636	986.03	-2.99
20.09.2023	11:36:30	19.9	6.549	986.01	6.642	983.92	-2.09
20.09.2023	11:38:00	20.1	6.552	987.60	6.634	984.38	-3.22
20.09.2023	11:39:30	20.0	6.551	988.45	6.628	984.22	-4.23
20.09.2023	11:41:00	20.1	6.554	988.41	6.631	984.68	-3.73
20.09.2023	11:42:30	20.1	6.550	986.91	6.637	984.07	-2.84
20.09.2023	11:44:00	20.1	6.554	987.50	6.637	984.68	-2.82
20.09.2023	11:45:30	20.3	6.544	987.56	6.626	983.17	-4.39
20.09.2023	11:47:00	20.0	6.571	991.00	6.631	987.23	-3.77
20.09.2023	11:48:30	20.1	6.552	988.16	6.631	984.38	-3.78
20.09.2023	12:05:00	20.4	6.537	985.43	6.634	982.12	-3.31
20.09.2023	12:06:30	20.6	6.563	988.89	6.637	986.03	-2.86
20.09.2023	12:08:00	20.5	6.543	985.83	6.637	983.02	-2.81
20.09.2023	12:09:30	20.9	6.536	985.39	6.633	981.97	-3.42
20.09.2023	12:11:00	21.0	6.538	984.72	6.639	982.27	-2.45
20.09.2023	12:12:30	20.8	6.537	985.27	6.635	982.12	-3.15
20.09.2023	12:14:00	21.0	6.536	984.62	6.638	981.97	-2.65
20.09.2023	12:15:30	21.1	6.527	981.45	6.650	980.62	-0.83
20.09.2023	12:17:00	20.6	6.521	983.00	6.634	979.72	-3.28
20.09.2023	12:18:30	21.0	6.535	983.09	6.647	981.82	-1.27
20.09.2023	12:35:00	21.7	6.505	980.59	6.634	977.31	-3.28
20.09.2023	12:36:30	22.0	6.508	980.60	6.637	977.76	-2.84
20.09.2023	12:38:00	22.1	6.512	981.22	6.637	978.37	-2.85
20.09.2023	12:39:30	21.8	6.505	979.76	6.639	977.31	-2.45
20.09.2023	12:41:00	21.5	6.487	976.86	6.641	974.61	-2.25
20.09.2023	12:42:30	21.7	6.472	975.14	6.637	972.36	-2.78
20.09.2023	12:44:00	22.0	6.455	972.60	6.637	969.80	-2.80
20.09.2023	12:45:30	22.2	6.440	971.72	6.627	967.55	-4.17
20.09.2023	12:47:00	22.1	6.446	972.50	6.628	968.45	-4.05
20.09.2023	12:48:30	21.5	6.427	969.47	6.629	965.59	-3.88
20.09.2023	13:05:00	21.6	6.388	962.43	6.637	959.74	-2.69
20.09.2023	13:06:30	21.7	6.381	961.70	6.635	958.68	-3.02
20.09.2023	13:08:00	21.9	6.384	961.93	6.637	959.13	-2.80
20.09.2023	13:09:30	21.9	6.390	963.06	6.635	960.04	-3.02
20.09.2023	13:11:00	21.7	6.372	959.78	6.639	957.33	-2.45
20.09.2023	13:12:30	21.7	6.358	957.52	6.640	955.23	-2.29
20.09.2023	13:14:00	21.9	6.375	959.72	6.643	957.78	-1.94

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
20.09.2023	13:15:30	22.1	6.363	958.25	6.640	955.98	-2.27
20.09.2023	13:17:00	21.6	6.371	960.49	6.633	957.18	-3.31
20.09.2023	13:18:30	21.5	6.341	954.93	6.640	952.67	-2.26
20.09.2023	13:35:00	21.6	6.236	938.12	6.647	936.90	-1.22
20.09.2023	13:36:30	21.3	6.199	932.99	6.644	931.34	-1.65
20.09.2023	13:38:00	21.1	6.190	930.77	6.650	929.99	-0.78
20.09.2023	13:39:30	21.1	6.254	941.97	6.639	939.60	-2.37
20.09.2023	13:41:00	21.2	6.238	939.91	6.637	937.20	-2.71
20.09.2023	13:42:30	21.0	6.238	939.42	6.640	937.20	-2.22
20.09.2023	13:44:00	21.0	6.257	940.82	6.651	940.05	-0.77
20.09.2023	13:45:30	20.8	6.230	938.17	6.641	936.00	-2.17
20.09.2023	13:47:00	21.0	6.220	936.44	6.642	934.50	-1.94
20.09.2023	13:48:30	21.0	6.202	933.65	6.643	931.79	-1.86
20.09.2023	14:05:00	20.4	6.136	922.66	6.650	921.88	-0.78
20.09.2023	14:06:30	20.5	6.140	923.31	6.650	922.48	-0.83
20.09.2023	14:08:00	20.8	6.105	918.87	6.644	917.22	-1.65
20.09.2023	14:09:30	20.6	6.103	918.08	6.648	916.92	-1.16
20.09.2023	14:11:00	20.7	6.127	920.55	6.656	920.52	-0.03
20.09.2023	14:12:30	20.4	6.106	918.54	6.648	917.37	-1.17
20.09.2023	14:14:00	20.4	6.092	915.88	6.652	915.26	-0.62
20.09.2023	14:15:30	20.7	6.086	915.82	6.645	914.36	-1.46
20.09.2023	14:17:00	20.8	6.055	910.47	6.650	909.71	-0.76
20.09.2023	14:18:30	21.0	6.035	907.22	6.652	906.70	-0.52
22.09.2023	10:30:00	18.8	6.127	919.06	6.667	920.52	1.46
22.09.2023	10:33:00	19.0	6.136	920.59	6.665	921.88	1.29
22.09.2023	10:34:30	19.4	6.144	922.72	6.659	923.08	0.36
22.09.2023	10:36:00	19.6	6.146	923.01	6.659	923.38	0.37
22.09.2023	10:37:30	19.5	6.149	923.21	6.660	923.83	0.62
22.09.2023	10:39:00	19.5	6.152	923.10	6.665	924.28	1.18
22.09.2023	10:40:30	19.5	6.146	923.22	6.657	923.38	0.16
22.09.2023	10:42:00	19.5	6.145	922.62	6.660	923.23	0.61
22.09.2023	10:43:30	19.8	6.146	922.62	6.661	923.38	0.76
22.09.2023	10:45:00	20.1	6.133	921.46	6.656	921.42	-0.04
22.09.2023	11:00:00	20.3	6.130	921.04	6.656	920.97	-0.07
22.09.2023	11:01:30	20.2	6.133	920.79	6.661	921.42	0.63
22.09.2023	11:03:00	20.4	6.118	917.94	6.665	919.17	1.23
22.09.2023	11:04:30	20.3	6.129	920.78	6.656	920.82	0.04
22.09.2023	11:06:00	20.5	6.130	920.58	6.659	920.97	0.39
22.09.2023	11:07:30	20.5	6.117	919.54	6.652	919.02	-0.52
22.09.2023	11:09:00	20.2	6.111	917.73	6.659	918.12	0.39
22.09.2023	11:10:30	20.3	6.130	920.55	6.659	920.97	0.42
22.09.2023	11:12:00	20.1	6.164	925.70	6.659	926.08	0.38
22.09.2023	11:13:30	20.1	6.135	920.86	6.662	921.72	0.86
22.09.2023	11:30:00	21.1	6.140	920.97	6.667	922.48	1.51
22.09.2023	11:31:30	21.0	6.131	920.25	6.662	921.12	0.87
22.09.2023	11:33:00	20.9	6.133	919.73	6.668	921.42	1.69

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
22.09.2023	11:34:30	20.8	6.147	921.68	6.669	923.53	1.85
22.09.2023	11:36:00	20.8	6.150	923.70	6.658	923.98	0.28
22.09.2023	11:37:30	20.7	6.152	923.17	6.664	924.28	1.11
22.09.2023	11:39:00	20.9	6.164	924.90	6.665	926.08	1.18
22.09.2023	11:40:30	21.1	6.148	923.90	6.654	923.68	-0.22
22.09.2023	11:42:00	21.2	6.163	925.56	6.659	925.93	0.37
22.09.2023	11:43:30	21.3	6.164	926.24	6.655	926.08	-0.16
22.09.2023	12:00:00	20.2	6.131	919.95	6.664	921.12	1.17
22.09.2023	12:01:30	20.3	6.132	921.28	6.656	921.27	-0.01
22.09.2023	12:03:00	20.3	6.145	921.11	6.671	923.23	2.12
22.09.2023	12:04:30	20.3	6.131	920.61	6.660	921.12	0.51
22.09.2023	12:06:00	20.3	6.161	925.78	6.655	925.63	-0.15
22.09.2023	12:07:30	20.3	6.143	923.94	6.649	922.93	-1.01
22.09.2023	12:09:00	20.3	6.145	923.31	6.655	923.23	-0.08
22.09.2023	12:10:30	20.3	6.132	921.91	6.651	921.27	-0.64
22.09.2023	12:12:00	20.3	6.143	923.46	6.652	922.93	-0.53
22.09.2023	12:13:30	20.3	6.150	923.80	6.657	923.98	0.18
22.09.2023	12:30:00	21.2	6.130	921.79	6.650	920.97	-0.82
22.09.2023	12:31:30	21.2	6.159	925.40	6.656	925.33	-0.07
22.09.2023	12:33:00	21.2	6.146	923.56	6.655	923.38	-0.18
22.09.2023	12:34:30	21.2	6.114	920.35	6.643	918.57	-1.78
22.09.2023	12:36:00	21.2	6.130	921.35	6.653	920.97	-0.38
22.09.2023	12:37:30	22.6	6.108	918.78	6.648	917.67	-1.11
22.09.2023	12:39:00	22.2	6.107	918.17	6.651	917.52	-0.65
22.09.2023	12:40:30	22.1	6.106	918.79	6.646	917.37	-1.42
22.09.2023	12:42:00	22.0	6.125	920.13	6.657	920.22	0.09
22.09.2023	12:43:30	22.2	6.091	916.72	6.644	915.11	-1.61

Таблица 4 – Пиргелиометр СНР1 №100314

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
11.09.2023	10:05:00	15.0	7.893	936.75	8.426	937.52	0.77
11.09.2023	10:06:30	15.2	7.908	937.50	8.435	939.30	1.80
11.09.2023	10:08:00	15.4	7.881	935.08	8.428	936.10	1.02
11.09.2023	10:09:30	15.5	7.896	937.03	8.427	937.88	0.85
11.09.2023	10:11:00	15.8	7.907	937.91	8.430	939.19	1.28
11.09.2023	10:12:30	15.7	7.910	938.19	8.431	939.54	1.35
11.09.2023	10:14:00	15.6	7.911	937.92	8.435	939.66	1.74
11.09.2023	10:15:30	15.9	7.916	939.20	8.428	940.25	1.05
11.09.2023	10:17:00	16.1	7.904	937.14	8.434	938.83	1.69
11.09.2023	10:18:30	15.7	7.907	937.65	8.433	939.19	1.54
11.09.2023	10:35:00	16.1	7.965	945.18	8.427	946.07	0.89
11.09.2023	10:36:30	16.4	7.965	944.98	8.429	946.07	1.09
11.09.2023	10:38:00	16.6	7.985	947.41	8.428	948.45	1.04
11.09.2023	10:39:30	16.5	7.981	946.78	8.430	947.97	1.19
11.09.2023	10:41:00	16.4	7.976	946.37	8.428	947.38	1.01

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
11.09.2023	10:42:30	16.5	7.965	945.07	8.428	946.07	1.00
11.09.2023	10:44:00	16.6	7.987	947.95	8.426	948.69	0.74
11.09.2023	10:45:30	16.5	7.993	948.63	8.426	949.40	0.77
11.09.2023	10:47:00	16.5	8.010	950.96	8.423	951.42	0.46
11.09.2023	10:48:30	16.5	8.020	951.26	8.431	952.61	1.35
15.09.2023	10:00:00	20.1	7.385	878.38	8.408	877.18	-1.20
15.09.2023	10:01:30	20.4	7.400	878.84	8.420	878.96	0.12
15.09.2023	10:03:00	20.2	7.405	879.98	8.415	879.56	-0.42
15.09.2023	10:04:30	20.2	7.421	880.94	8.424	881.46	0.52
15.09.2023	10:06:00	19.9	7.425	882.71	8.412	881.93	-0.78
15.09.2023	10:07:30	19.8	7.448	884.55	8.420	884.67	0.12
15.09.2023	10:09:00	19.9	7.458	885.48	8.423	885.85	0.37
15.09.2023	10:10:30	19.9	7.459	887.21	8.407	885.97	-1.24
15.09.2023	10:12:00	20.2	7.463	887.33	8.411	886.45	-0.88
15.09.2023	10:13:30	20.2	7.470	887.99	8.412	887.28	-0.71
15.09.2023	10:30:00	20.9	7.463	887.19	8.412	886.45	-0.74
15.09.2023	10:31:30	21.1	7.490	891.01	8.406	889.65	-1.36
15.09.2023	10:33:00	21.1	7.489	889.56	8.419	889.54	-0.02
15.09.2023	10:34:30	21.0	7.479	887.83	8.424	888.35	0.52
15.09.2023	10:36:00	21.1	7.478	888.63	8.415	888.23	-0.40
15.09.2023	10:37:30	21.3	7.481	888.41	8.421	888.59	0.18
15.09.2023	10:39:00	21.1	7.492	888.80	8.429	889.89	1.09
15.09.2023	10:40:30	21.2	7.474	889.84	8.399	887.75	-2.09
15.09.2023	10:42:00	21.1	7.511	893.42	8.407	892.15	-1.27
15.09.2023	10:43:30	21.1	7.561	898.40	8.416	898.09	-0.31
15.09.2023	11:00:00	20.9	7.398	881.04	8.397	878.73	-2.31
15.09.2023	11:01:30	21.0	7.411	881.32	8.409	880.27	-1.05
15.09.2023	11:03:00	21.0	7.461	887.61	8.406	886.21	-1.40
15.09.2023	11:04:30	21.0	7.483	889.59	8.412	888.82	-0.77
15.09.2023	11:06:00	21.0	7.498	892.03	8.406	890.60	-1.43
15.09.2023	11:07:30	21.4	7.503	892.42	8.407	891.20	-1.22
15.09.2023	11:09:00	21.3	7.495	890.65	8.415	890.25	-0.40
15.09.2023	11:10:30	21.1	7.481	889.81	8.407	888.59	-1.22
15.09.2023	11:12:00	21.2	7.476	889.43	8.405	887.99	-1.44
15.09.2023	11:13:30	21.4	7.490	891.16	8.405	889.65	-1.51
15.09.2023	11:30:00	21.0	7.552	898.90	8.401	897.02	-1.88
15.09.2023	11:31:30	21.3	7.537	897.78	8.395	895.24	-2.54
15.09.2023	11:33:00	21.3	7.538	897.72	8.397	895.36	-2.36
15.09.2023	11:34:30	21.6	7.541	897.07	8.406	895.71	-1.36
15.09.2023	11:36:00	21.7	7.538	895.23	8.420	895.36	0.13
15.09.2023	11:37:30	21.7	7.545	898.12	8.401	896.19	-1.93
15.09.2023	11:39:00	22.1	7.548	899.29	8.393	896.54	-2.75
15.09.2023	11:40:30	22.4	7.549	898.92	8.398	896.66	-2.26
15.09.2023	11:42:00	22.7	7.552	899.06	8.400	897.02	-2.04
15.09.2023	11:43:30	22.9	7.529	896.45	8.399	894.29	-2.16
15.09.2023	12:00:00	21.3	7.567	898.13	8.425	898.80	0.67

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
15.09.2023	12:01:30	21.3	7.556	899.05	8.404	897.49	-1.56
15.09.2023	12:03:00	21.7	7.568	900.50	8.404	898.92	-1.58
15.09.2023	12:04:30	22.0	7.535	896.50	8.405	895.00	-1.50
15.09.2023	12:06:00	22.3	7.519	892.11	8.428	893.10	0.99
15.09.2023	12:07:30	22.5	7.454	885.12	8.421	885.38	0.26
15.09.2023	12:09:00	22.5	7.431	883.29	8.413	882.65	-0.64
15.09.2023	12:10:30	22.4	7.440	885.08	8.406	883.72	-1.36
15.09.2023	12:12:00	22.5	7.427	884.74	8.395	882.17	-2.57
15.09.2023	12:13:30	22.5	7.424	882.92	8.408	881.81	-1.11
15.09.2023	12:30:00	22.9	7.367	875.87	8.411	875.04	-0.83
15.09.2023	12:31:30	22.6	7.349	873.54	8.413	872.91	-0.63
15.09.2023	12:33:00	22.4	7.361	874.72	8.415	874.33	-0.39
15.09.2023	12:34:30	21.9	7.384	877.96	8.410	877.06	-0.90
15.09.2023	12:36:00	21.9	7.405	879.78	8.417	879.56	-0.22
15.09.2023	12:37:30	22.2	7.419	880.99	8.421	881.22	0.23
15.09.2023	12:39:00	22.5	7.385	878.24	8.409	877.18	-1.06
15.09.2023	12:40:30	22.2	7.392	877.77	8.421	878.01	0.24
15.09.2023	12:42:00	21.9	7.385	876.74	8.423	877.18	0.44
15.09.2023	12:43:30	21.3	7.393	878.44	8.416	878.13	-0.31
15.09.2023	13:00:00	22.7	7.134	849.02	8.403	847.37	-1.65
15.09.2023	13:01:30	22.8	7.137	848.98	8.407	847.73	-1.25
15.09.2023	13:03:00	23.1	7.136	848.21	8.413	847.61	-0.60
15.09.2023	13:04:30	23.2	7.167	851.95	8.412	851.29	-0.66
15.09.2023	13:06:00	23.2	7.196	855.54	8.411	854.73	-0.81
15.09.2023	13:07:30	23.1	7.185	854.21	8.411	853.43	-0.78
15.09.2023	13:09:00	23.0	7.188	854.87	8.408	853.78	-1.09
15.09.2023	13:10:30	22.8	7.130	848.00	8.408	846.89	-1.11
15.09.2023	13:12:00	22.8	7.036	838.13	8.395	835.73	-2.40
15.09.2023	13:13:30	22.9	7.036	836.86	8.408	835.73	-1.13
20.09.2023	10:05:00	18.6	8.097	961.09	8.425	961.75	0.66
20.09.2023	10:06:30	18.8	8.096	959.04	8.442	961.63	2.59
20.09.2023	10:08:00	18.6	8.112	962.04	8.432	963.53	1.49
20.09.2023	10:09:30	18.8	8.103	960.84	8.433	962.47	1.63
20.09.2023	10:11:00	18.8	8.115	961.59	8.439	963.89	2.30
20.09.2023	10:12:30	18.6	8.138	964.56	8.437	966.62	2.06
20.09.2023	10:14:00	18.9	8.137	963.91	8.442	966.50	2.59
20.09.2023	10:15:30	18.9	8.132	964.43	8.432	965.91	1.48
20.09.2023	10:17:00	18.7	8.138	965.47	8.429	966.62	1.15
20.09.2023	10:18:30	18.8	8.160	967.80	8.431	969.24	1.44
20.09.2023	10:35:00	19.0	8.198	971.14	8.442	973.75	2.61
20.09.2023	10:36:30	18.9	8.187	968.86	8.450	972.44	3.58
20.09.2023	10:38:00	19.1	8.210	972.30	8.444	975.18	2.88
20.09.2023	10:39:30	19.2	8.216	970.92	8.462	975.89	4.97
20.09.2023	10:41:00	19.1	8.209	972.55	8.441	975.06	2.51
20.09.2023	10:42:30	19.2	8.203	973.58	8.426	974.34	0.76
20.09.2023	10:44:00	19.1	8.226	975.69	8.431	977.08	1.39

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
20.09.2023	10:45:30	19.2	8.226	975.96	8.429	977.08	1.12
20.09.2023	10:47:00	19.1	8.218	974.94	8.429	976.13	1.19
20.09.2023	10:48:30	19.2	8.246	978.48	8.427	979.45	0.97
20.09.2023	11:05:00	20.1	8.259	980.09	8.427	981.00	0.91
20.09.2023	11:06:30	20.1	8.248	977.75	8.436	979.69	1.94
20.09.2023	11:08:00	20.0	8.262	979.78	8.433	981.35	1.57
20.09.2023	11:09:30	20.2	8.269	981.16	8.428	982.18	1.02
20.09.2023	11:11:00	20.3	8.268	979.87	8.438	982.06	2.19
20.09.2023	11:12:30	20.0	8.301	981.91	8.454	985.98	4.07
20.09.2023	11:14:00	20.0	8.294	985.21	8.419	985.15	-0.06
20.09.2023	11:15:30	19.9	8.275	983.00	8.418	982.90	-0.10
20.09.2023	11:17:00	20.1	8.293	985.41	8.416	985.03	-0.38
20.09.2023	11:18:30	19.7	8.311	987.19	8.419	987.17	-0.02
20.09.2023	11:35:00	20.0	8.329	989.02	8.421	989.31	0.29
20.09.2023	11:36:30	19.9	8.308	986.01	8.426	986.82	0.81
20.09.2023	11:38:00	20.1	8.308	987.60	8.412	986.82	-0.78
20.09.2023	11:39:30	20.0	8.311	988.45	8.408	987.17	-1.28
20.09.2023	11:41:00	20.1	8.312	988.41	8.409	987.29	-1.12
20.09.2023	11:42:30	20.1	8.308	986.91	8.418	986.82	-0.09
20.09.2023	11:44:00	20.1	8.312	987.50	8.417	987.29	-0.21
20.09.2023	11:45:30	20.3	8.301	987.56	8.406	985.98	-1.58
20.09.2023	11:47:00	20.0	8.337	991.00	8.413	990.26	-0.74
20.09.2023	11:48:30	20.1	8.308	988.16	8.408	986.82	-1.34
20.09.2023	12:05:00	20.4	8.288	985.43	8.411	984.44	-0.99
20.09.2023	12:06:30	20.6	8.321	988.89	8.414	988.36	-0.53
20.09.2023	12:08:00	20.5	8.294	985.83	8.413	985.15	-0.68
20.09.2023	12:09:30	20.9	8.289	985.39	8.412	984.56	-0.83
20.09.2023	12:11:00	21.0	8.291	984.72	8.420	984.80	0.08
20.09.2023	12:12:30	20.8	8.290	985.27	8.414	984.68	-0.59
20.09.2023	12:14:00	21.0	8.291	984.62	8.421	984.80	0.18
20.09.2023	12:15:30	21.1	8.278	981.45	8.434	983.25	1.80
20.09.2023	12:17:00	20.6	8.268	983.00	8.411	982.06	-0.94
20.09.2023	12:18:30	21.0	8.284	983.09	8.426	983.96	0.87
20.09.2023	12:35:00	21.7	8.258	980.59	8.421	980.88	0.29
20.09.2023	12:36:30	22.0	8.252	980.60	8.415	980.16	-0.44
20.09.2023	12:38:00	22.1	8.255	981.22	8.413	980.52	-0.70
20.09.2023	12:39:30	21.8	8.249	979.76	8.419	979.81	0.05
20.09.2023	12:41:00	21.5	8.227	976.86	8.422	977.19	0.33
20.09.2023	12:42:30	21.7	8.212	975.14	8.421	975.41	0.27
20.09.2023	12:44:00	22.0	8.182	972.60	8.413	971.85	-0.75
20.09.2023	12:45:30	22.2	8.171	971.72	8.409	970.54	-1.18
20.09.2023	12:47:00	22.1	8.180	972.50	8.411	971.61	-0.89
20.09.2023	12:48:30	21.5	8.157	969.47	8.414	968.88	-0.59
20.09.2023	13:05:00	21.6	8.103	962.43	8.419	962.47	0.04
20.09.2023	13:06:30	21.7	8.096	961.70	8.418	961.63	-0.07
20.09.2023	13:08:00	21.9	8.098	961.93	8.418	961.87	-0.06

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
20.09.2023	13:09:30	21.9	8.107	963.06	8.418	962.94	-0.12
20.09.2023	13:11:00	21.7	8.081	959.78	8.420	959.85	0.07
20.09.2023	13:12:30	21.7	8.059	957.52	8.417	957.24	-0.28
20.09.2023	13:14:00	21.9	8.082	959.72	8.421	959.97	0.25
20.09.2023	13:15:30	22.1	8.063	958.25	8.414	957.71	-0.54
20.09.2023	13:17:00	21.6	8.080	960.49	8.412	959.73	-0.76
20.09.2023	13:18:30	21.5	8.038	954.93	8.417	954.75	-0.18
20.09.2023	13:35:00	21.6	7.897	938.12	8.418	938.00	-0.12
20.09.2023	13:36:30	21.3	7.855	932.99	8.419	933.01	0.02
20.09.2023	13:38:00	21.1	7.835	930.77	8.418	930.63	-0.14
20.09.2023	13:39:30	21.1	7.923	941.97	8.411	941.09	-0.88
20.09.2023	13:41:00	21.2	7.909	939.91	8.415	939.42	-0.49
20.09.2023	13:42:30	21.0	7.904	939.42	8.414	938.83	-0.59
20.09.2023	13:44:00	21.0	7.933	940.82	8.432	942.27	1.45
20.09.2023	13:45:30	20.8	7.895	938.17	8.415	937.76	-0.41
20.09.2023	13:47:00	21.0	7.881	936.44	8.416	936.10	-0.34
20.09.2023	13:48:30	21.0	7.855	933.65	8.413	933.01	-0.64
20.09.2023	14:05:00	20.4	7.773	922.66	8.425	923.27	0.61
20.09.2023	14:06:30	20.5	7.767	923.31	8.412	922.56	-0.75
20.09.2023	14:08:00	20.8	7.721	918.87	8.403	917.09	-1.78
20.09.2023	14:09:30	20.6	7.729	918.08	8.419	918.04	-0.04
20.09.2023	14:11:00	20.7	7.757	920.55	8.426	921.37	0.82
20.09.2023	14:12:30	20.4	7.734	918.54	8.420	918.64	0.10
20.09.2023	14:14:00	20.4	7.708	915.88	8.416	915.55	-0.33
20.09.2023	14:15:30	20.7	7.701	915.82	8.409	914.72	-1.10
20.09.2023	14:17:00	20.8	7.664	910.47	8.418	910.32	-0.15
20.09.2023	14:18:30	21.0	7.633	907.22	8.414	906.64	-0.58
22.09.2023	10:30:00	18.8	7.754	919.06	8.437	921.01	1.95
22.09.2023	10:33:00	19.0	7.758	920.59	8.427	921.49	0.90
22.09.2023	10:34:30	19.4	7.774	922.72	8.425	923.39	0.67
22.09.2023	10:36:00	19.6	7.780	923.01	8.429	924.10	1.09
22.09.2023	10:37:30	19.5	7.780	923.21	8.427	924.10	0.89
22.09.2023	10:39:00	19.5	7.783	923.10	8.431	924.46	1.36
22.09.2023	10:40:30	19.5	7.777	923.22	8.424	923.74	0.52
22.09.2023	10:42:00	19.5	7.776	922.62	8.428	923.63	1.01
22.09.2023	10:43:30	19.8	7.779	922.62	8.431	923.98	1.36
22.09.2023	10:45:00	20.1	7.761	921.46	8.423	921.84	0.38
22.09.2023	11:00:00	20.3	7.758	921.04	8.423	921.49	0.45
22.09.2023	11:01:30	20.2	7.760	920.79	8.428	921.72	0.93
22.09.2023	11:03:00	20.4	7.734	917.94	8.425	918.64	0.70
22.09.2023	11:04:30	20.3	7.754	920.78	8.421	921.01	0.23
22.09.2023	11:06:00	20.5	7.759	920.58	8.428	921.61	1.03
22.09.2023	11:07:30	20.5	7.749	919.54	8.427	920.42	0.88
22.09.2023	11:09:00	20.2	7.734	917.73	8.427	918.64	0.91
22.09.2023	11:10:30	20.3	7.760	920.55	8.430	921.72	1.17
22.09.2023	11:12:00	20.1	7.796	925.70	8.422	926.00	0.30

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
22.09.2023	11:13:30	20.1	7.767	920.86	8.435	922.56	1.70
22.09.2023	11:30:00	21.1	7.767	920.97	8.433	922.56	1.59
22.09.2023	11:31:30	21.0	7.752	920.25	8.424	920.77	0.52
22.09.2023	11:33:00	20.9	7.758	919.73	8.435	921.49	1.76
22.09.2023	11:34:30	20.8	7.783	921.68	8.444	924.46	2.78
22.09.2023	11:36:00	20.8	7.779	923.70	8.422	923.98	0.28
22.09.2023	11:37:30	20.7	7.780	923.17	8.427	924.10	0.93
22.09.2023	11:39:00	20.9	7.796	924.90	8.429	926.00	1.10
22.09.2023	11:40:30	21.1	7.777	923.90	8.418	923.74	-0.16
22.09.2023	11:42:00	21.2	7.793	925.56	8.420	925.64	0.08
22.09.2023	11:43:30	21.3	7.791	926.24	8.411	925.41	-0.83
22.09.2023	12:00:00	20.2	7.749	919.95	8.423	920.42	0.47
22.09.2023	12:01:30	20.3	7.751	921.28	8.413	920.66	-0.62
22.09.2023	12:03:00	20.3	7.766	921.11	8.431	922.44	1.33
22.09.2023	12:04:30	20.3	7.749	920.61	8.417	920.42	-0.19
22.09.2023	12:06:00	20.3	7.788	925.78	8.412	925.05	-0.73
22.09.2023	12:07:30	20.3	7.768	923.94	8.407	922.67	-1.27
22.09.2023	12:09:00	20.3	7.772	923.31	8.418	923.15	-0.16
22.09.2023	12:10:30	20.3	7.758	921.91	8.415	921.49	-0.42
22.09.2023	12:12:00	20.3	7.772	923.46	8.416	923.15	-0.31
22.09.2023	12:13:30	20.3	7.780	923.80	8.422	924.10	0.30
22.09.2023	12:30:00	21.2	7.760	921.79	8.418	921.72	-0.07
22.09.2023	12:31:30	21.2	7.791	925.40	8.419	925.41	0.01
22.09.2023	12:33:00	21.2	7.773	923.56	8.416	923.27	-0.29
22.09.2023	12:34:30	21.2	7.734	920.35	8.403	918.64	-1.71
22.09.2023	12:36:00	21.2	7.749	921.35	8.410	920.42	-0.93
22.09.2023	12:37:30	22.6	7.731	918.78	8.414	918.28	-0.50
22.09.2023	12:39:00	22.2	7.737	918.17	8.427	918.99	0.82
22.09.2023	12:40:30	22.1	7.727	918.79	8.410	917.80	-0.99
22.09.2023	12:42:00	22.0	7.754	920.13	8.427	921.01	0.88
22.09.2023	12:43:30	22.2	7.716	916.72	8.417	916.50	-0.22

Таблица 5 – Пиргелиометр СНР1 №100319

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
11.09.2023	10:05:00	15.0	8.021	936.75	8.563	937.36	0.61
11.09.2023	10:06:30	15.2	8.027	937.50	8.562	938.06	0.56
11.09.2023	10:08:00	15.4	8.004	935.08	8.560	935.37	0.29
11.09.2023	10:09:30	15.5	8.011	937.03	8.549	936.19	-0.84
11.09.2023	10:11:00	15.8	8.022	937.91	8.553	937.48	-0.43
11.09.2023	10:12:30	15.7	8.027	938.19	8.556	938.06	-0.13
11.09.2023	10:14:00	15.6	8.025	937.92	8.556	937.83	-0.09
11.09.2023	10:15:30	15.9	8.023	939.20	8.542	937.59	-1.61
11.09.2023	10:17:00	16.1	8.011	937.14	8.548	936.19	-0.95
11.09.2023	10:18:30	15.7	8.025	937.65	8.559	937.83	0.18
11.09.2023	10:35:00	16.1	8.083	945.18	8.552	944.61	-0.57

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
11.09.2023	10:36:30	16.4	8.080	944.98	8.550	944.26	-0.72
11.09.2023	10:38:00	16.6	8.100	947.41	8.550	946.59	-0.82
11.09.2023	10:39:30	16.5	8.097	946.78	8.552	946.24	-0.54
11.09.2023	10:41:00	16.4	8.098	946.37	8.557	946.36	-0.01
11.09.2023	10:42:30	16.5	8.082	945.07	8.552	944.49	-0.58
11.09.2023	10:44:00	16.6	8.099	947.95	8.544	946.48	-1.47
11.09.2023	10:45:30	16.5	8.113	948.63	8.552	948.11	-0.52
11.09.2023	10:47:00	16.5	8.133	950.96	8.552	950.45	-0.51
11.09.2023	10:48:30	16.5	8.134	951.26	8.551	950.57	-0.69
15.09.2023	10:00:00	20.1	7.512	878.38	8.552	877.88	-0.50
15.09.2023	10:01:30	20.4	7.521	878.84	8.558	878.93	0.09
15.09.2023	10:03:00	20.2	7.535	879.98	8.563	880.57	0.59
15.09.2023	10:04:30	20.2	7.552	880.94	8.573	882.55	1.61
15.09.2023	10:06:00	19.9	7.561	882.71	8.566	883.60	0.89
15.09.2023	10:07:30	19.8	7.572	884.55	8.560	884.89	0.34
15.09.2023	10:09:00	19.9	7.579	885.48	8.559	885.71	0.23
15.09.2023	10:10:30	19.9	7.586	887.21	8.550	886.53	-0.68
15.09.2023	10:12:00	20.2	7.585	887.33	8.548	886.41	-0.92
15.09.2023	10:13:30	20.2	7.597	887.99	8.555	887.81	-0.18
15.09.2023	10:30:00	20.9	7.586	887.19	8.551	886.53	-0.66
15.09.2023	10:31:30	21.1	7.607	891.01	8.538	888.98	-2.03
15.09.2023	10:33:00	21.1	7.613	889.56	8.558	889.68	0.12
15.09.2023	10:34:30	21.0	7.595	887.83	8.555	887.58	-0.25
15.09.2023	10:36:00	21.1	7.597	888.63	8.549	887.81	-0.82
15.09.2023	10:37:30	21.3	7.602	888.41	8.557	888.40	-0.01
15.09.2023	10:39:00	21.1	7.600	888.80	8.551	888.16	-0.64
15.09.2023	10:40:30	21.2	7.597	889.84	8.537	887.81	-2.03
15.09.2023	10:42:00	21.1	7.636	893.42	8.547	892.37	-1.05
15.09.2023	10:43:30	21.1	7.682	898.40	8.551	897.74	-0.66
15.09.2023	11:00:00	20.9	7.526	881.04	8.542	879.51	-1.53
15.09.2023	11:01:30	21.0	7.540	881.32	8.555	881.15	-0.17
15.09.2023	11:03:00	21.0	7.580	887.61	8.540	885.82	-1.79
15.09.2023	11:04:30	21.0	7.618	889.59	8.563	890.27	0.68
15.09.2023	11:06:00	21.0	7.638	892.03	8.562	892.60	0.57
15.09.2023	11:07:30	21.4	7.635	892.42	8.555	892.25	-0.17
15.09.2023	11:09:00	21.3	7.622	890.65	8.558	890.73	0.08
15.09.2023	11:10:30	21.1	7.613	889.81	8.556	889.68	-0.13
15.09.2023	11:12:00	21.2	7.610	889.43	8.556	889.33	-0.10
15.09.2023	11:13:30	21.4	7.623	891.16	8.554	890.85	-0.31
15.09.2023	11:30:00	21.0	7.684	898.90	8.548	897.98	-0.92
15.09.2023	11:31:30	21.3	7.675	897.78	8.549	896.93	-0.85
15.09.2023	11:33:00	21.3	7.680	897.72	8.555	897.51	-0.21
15.09.2023	11:34:30	21.6	7.670	897.07	8.550	896.34	-0.73
15.09.2023	11:36:00	21.7	7.658	895.23	8.554	894.94	-0.29
15.09.2023	11:37:30	21.7	7.682	898.12	8.553	897.74	-0.38
15.09.2023	11:39:00	22.1	7.684	899.29	8.545	897.98	-1.31

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
15.09.2023	11:40:30	22.4	7.682	898.92	8.546	897.74	-1.18
15.09.2023	11:42:00	22.7	7.679	899.06	8.541	897.39	-1.67
15.09.2023	11:43:30	22.9	7.658	896.45	8.543	894.94	-1.51
15.09.2023	12:00:00	21.3	7.678	898.13	8.549	897.28	-0.85
15.09.2023	12:01:30	21.3	7.682	899.05	8.545	897.74	-1.31
15.09.2023	12:03:00	21.7	7.695	900.50	8.545	899.26	-1.24
15.09.2023	12:04:30	22.0	7.659	896.50	8.543	895.06	-1.44
15.09.2023	12:06:00	22.3	7.628	892.11	8.551	891.43	-0.68
15.09.2023	12:07:30	22.5	7.571	885.12	8.554	884.77	-0.35
15.09.2023	12:09:00	22.5	7.550	883.29	8.548	882.32	-0.97
15.09.2023	12:10:30	22.4	7.568	885.08	8.551	884.42	-0.66
15.09.2023	12:12:00	22.5	7.547	884.74	8.530	881.97	-2.77
15.09.2023	12:13:30	22.5	7.549	882.92	8.550	882.20	-0.72
15.09.2023	12:30:00	22.9	7.484	875.87	8.545	874.61	-1.26
15.09.2023	12:31:30	22.6	7.468	873.54	8.549	872.74	-0.80
15.09.2023	12:33:00	22.4	7.485	874.72	8.557	874.72	0.00
15.09.2023	12:34:30	21.9	7.503	877.96	8.546	876.83	-1.13
15.09.2023	12:36:00	21.9	7.516	879.78	8.543	878.35	-1.43
15.09.2023	12:37:30	22.2	7.517	880.99	8.532	878.46	-2.53
15.09.2023	12:39:00	22.5	7.500	878.24	8.540	876.48	-1.76
15.09.2023	12:40:30	22.2	7.510	877.77	8.556	877.64	-0.13
15.09.2023	12:42:00	21.9	7.503	876.74	8.558	876.83	0.09
15.09.2023	12:43:30	21.3	7.510	878.44	8.549	877.64	-0.80
15.09.2023	13:00:00	22.7	7.245	849.02	8.533	846.68	-2.34
15.09.2023	13:01:30	22.8	7.245	848.98	8.534	846.68	-2.30
15.09.2023	13:03:00	23.1	7.242	848.21	8.538	846.32	-1.89
15.09.2023	13:04:30	23.2	7.281	851.95	8.546	850.88	-1.07
15.09.2023	13:06:00	23.2	7.304	855.54	8.537	853.57	-1.97
15.09.2023	13:07:30	23.1	7.294	854.21	8.539	852.40	-1.81
15.09.2023	13:09:00	23.0	7.300	854.87	8.539	853.10	-1.77
15.09.2023	13:10:30	22.8	7.243	848.00	8.541	846.44	-1.56
15.09.2023	13:12:00	22.8	7.152	838.13	8.533	835.81	-2.32
15.09.2023	13:13:30	22.9	7.143	836.86	8.535	834.76	-2.10
20.09.2023	10:05:00	18.6	8.223	961.09	8.556	960.97	-0.12
20.09.2023	10:06:30	18.8	8.229	959.04	8.580	961.67	2.63
20.09.2023	10:08:00	18.6	8.244	962.04	8.569	963.42	1.38
20.09.2023	10:09:30	18.8	8.231	960.84	8.566	961.90	1.06
20.09.2023	10:11:00	18.8	8.247	961.59	8.576	963.77	2.18
20.09.2023	10:12:30	18.6	8.265	964.56	8.569	965.88	1.32
20.09.2023	10:14:00	18.9	8.265	963.91	8.574	965.88	1.97
20.09.2023	10:15:30	18.9	8.259	964.43	8.564	965.17	0.74
20.09.2023	10:17:00	18.7	8.267	965.47	8.563	966.11	0.64
20.09.2023	10:18:30	18.8	8.284	967.80	8.560	968.10	0.30
20.09.2023	10:35:00	19.0	8.327	971.14	8.574	973.12	1.98
20.09.2023	10:36:30	18.9	8.316	968.86	8.583	971.84	2.98
20.09.2023	10:38:00	19.1	8.340	972.30	8.578	974.64	2.34

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
20.09.2023	10:39:30	19.2	8.343	970.92	8.593	974.99	4.07
20.09.2023	10:41:00	19.1	8.340	972.55	8.575	974.64	2.09
20.09.2023	10:42:30	19.2	8.331	973.58	8.557	973.59	0.01
20.09.2023	10:44:00	19.1	8.350	975.69	8.558	975.81	0.12
20.09.2023	10:45:30	19.2	8.350	975.96	8.556	975.81	-0.15
20.09.2023	10:47:00	19.1	8.347	974.94	8.562	975.46	0.52
20.09.2023	10:48:30	19.2	8.369	978.48	8.553	978.03	-0.45
20.09.2023	11:05:00	20.1	8.385	980.09	8.555	979.90	-0.19
20.09.2023	11:06:30	20.1	8.379	977.75	8.570	979.20	1.45
20.09.2023	11:08:00	20.0	8.386	979.78	8.559	980.02	0.24
20.09.2023	11:09:30	20.2	8.394	981.16	8.555	980.95	-0.21
20.09.2023	11:11:00	20.3	8.395	979.87	8.567	981.07	1.20
20.09.2023	11:12:30	20.0	8.436	981.91	8.591	985.86	3.95
20.09.2023	11:14:00	20.0	8.419	985.21	8.545	983.87	-1.34
20.09.2023	11:15:30	19.9	8.400	983.00	8.545	981.65	-1.35
20.09.2023	11:17:00	20.1	8.424	985.41	8.549	984.46	-0.95
20.09.2023	11:18:30	19.7	8.442	987.19	8.552	986.56	-0.63
20.09.2023	11:35:00	20.0	8.458	989.02	8.552	988.43	-0.59
20.09.2023	11:36:30	19.9	8.438	986.01	8.558	986.09	0.08
20.09.2023	11:38:00	20.1	8.440	987.60	8.546	986.33	-1.27
20.09.2023	11:39:30	20.0	8.440	988.45	8.539	986.33	-2.12
20.09.2023	11:41:00	20.1	8.442	988.41	8.541	986.56	-1.85
20.09.2023	11:42:30	20.1	8.436	986.91	8.548	985.86	-1.05
20.09.2023	11:44:00	20.1	8.441	987.50	8.548	986.44	-1.06
20.09.2023	11:45:30	20.3	8.429	987.56	8.535	985.04	-2.52
20.09.2023	11:47:00	20.0	8.472	991.00	8.549	990.07	-0.93
20.09.2023	11:48:30	20.1	8.439	988.16	8.540	986.21	-1.95
20.09.2023	12:05:00	20.4	8.419	985.43	8.543	983.87	-1.56
20.09.2023	12:06:30	20.6	8.448	988.89	8.543	987.26	-1.63
20.09.2023	12:08:00	20.5	8.415	985.83	8.536	983.41	-2.42
20.09.2023	12:09:30	20.9	8.409	985.39	8.534	982.70	-2.69
20.09.2023	12:11:00	21.0	8.416	984.72	8.547	983.52	-1.20
20.09.2023	12:12:30	20.8	8.416	985.27	8.542	983.52	-1.75
20.09.2023	12:14:00	21.0	8.425	984.62	8.557	984.57	-0.05
20.09.2023	12:15:30	21.1	8.414	981.45	8.573	983.29	1.84
20.09.2023	12:17:00	20.6	8.386	983.00	8.531	980.02	-2.98
20.09.2023	12:18:30	21.0	8.416	983.09	8.561	983.52	0.43
20.09.2023	12:35:00	21.7	8.385	980.59	8.551	979.90	-0.69
20.09.2023	12:36:30	22.0	8.376	980.60	8.542	978.85	-1.75
20.09.2023	12:38:00	22.1	8.392	981.22	8.553	980.72	-0.50
20.09.2023	12:39:30	21.8	8.386	979.76	8.559	980.02	0.26
20.09.2023	12:41:00	21.5	8.357	976.86	8.555	976.63	-0.23
20.09.2023	12:42:30	21.7	8.346	975.14	8.559	975.34	0.20
20.09.2023	12:44:00	22.0	8.305	972.60	8.539	970.55	-2.05
20.09.2023	12:45:30	22.2	8.304	971.72	8.546	970.43	-1.29
20.09.2023	12:47:00	22.1	8.314	972.50	8.549	971.60	-0.90

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
20.09.2023	12:48:30	21.5	8.289	969.47	8.550	968.68	-0.79
20.09.2023	13:05:00	21.6	8.236	962.43	8.558	962.49	0.06
20.09.2023	13:06:30	21.7	8.229	961.70	8.557	961.67	-0.03
20.09.2023	13:08:00	21.9	8.232	961.93	8.558	962.02	0.09
20.09.2023	13:09:30	21.9	8.241	963.06	8.557	963.07	0.01
20.09.2023	13:11:00	21.7	8.216	959.78	8.560	960.15	0.37
20.09.2023	13:12:30	21.7	8.187	957.52	8.550	956.76	-0.76
20.09.2023	13:14:00	21.9	8.212	959.72	8.557	959.68	-0.04
20.09.2023	13:15:30	22.1	8.196	958.25	8.553	957.81	-0.44
20.09.2023	13:17:00	21.6	8.211	960.49	8.549	959.57	-0.92
20.09.2023	13:18:30	21.5	8.173	954.93	8.559	955.12	0.19
20.09.2023	13:35:00	21.6	8.028	938.12	8.558	938.18	0.06
20.09.2023	13:36:30	21.3	7.992	932.99	8.566	933.97	0.98
20.09.2023	13:38:00	21.1	7.970	930.77	8.563	931.40	0.63
20.09.2023	13:39:30	21.1	8.057	941.97	8.553	941.57	-0.40
20.09.2023	13:41:00	21.2	8.045	939.91	8.559	940.17	0.26
20.09.2023	13:42:30	21.0	8.042	939.42	8.561	939.82	0.40
20.09.2023	13:44:00	21.0	8.068	940.82	8.575	942.85	2.03
20.09.2023	13:45:30	20.8	8.033	938.17	8.562	938.76	0.59
20.09.2023	13:47:00	21.0	8.016	936.44	8.560	936.78	0.34
20.09.2023	13:48:30	21.0	7.989	933.65	8.557	933.62	-0.03
20.09.2023	14:05:00	20.4	7.908	922.66	8.571	924.16	1.50
20.09.2023	14:06:30	20.5	7.900	923.31	8.556	923.22	-0.09
20.09.2023	14:08:00	20.8	7.855	918.87	8.549	917.96	-0.91
20.09.2023	14:09:30	20.6	7.861	918.08	8.562	918.66	0.58
20.09.2023	14:11:00	20.7	7.890	920.55	8.571	922.05	1.50
20.09.2023	14:12:30	20.4	7.868	918.54	8.566	919.48	0.94
20.09.2023	14:14:00	20.4	7.842	915.88	8.562	916.44	0.56
20.09.2023	14:15:30	20.7	7.837	915.82	8.557	915.86	0.04
20.09.2023	14:17:00	20.8	7.802	910.47	8.569	911.77	1.30
20.09.2023	14:18:30	21.0	7.765	907.22	8.559	907.44	0.22
22.09.2023	10:30:00	18.8	7.869	919.06	8.562	919.60	0.54
22.09.2023	10:33:00	19.0	7.887	920.59	8.567	921.70	1.11
22.09.2023	10:34:30	19.4	7.895	922.72	8.556	922.64	-0.08
22.09.2023	10:36:00	19.6	7.905	923.01	8.564	923.81	0.80
22.09.2023	10:37:30	19.5	7.904	923.21	8.561	923.69	0.48
22.09.2023	10:39:00	19.5	7.908	923.10	8.567	924.16	1.06
22.09.2023	10:40:30	19.5	7.908	923.22	8.566	924.16	0.94
22.09.2023	10:42:00	19.5	7.906	922.62	8.569	923.92	1.30
22.09.2023	10:43:30	19.8	7.902	922.62	8.565	923.45	0.83
22.09.2023	10:45:00	20.1	7.892	921.46	8.565	922.29	0.83
22.09.2023	11:00:00	20.3	7.890	921.04	8.566	922.05	1.01
22.09.2023	11:01:30	20.2	7.886	920.79	8.564	921.58	0.79
22.09.2023	11:03:00	20.4	7.864	917.94	8.567	919.01	1.07
22.09.2023	11:04:30	20.3	7.881	920.78	8.559	921.00	0.22
22.09.2023	11:06:00	20.5	7.881	920.58	8.561	921.00	0.42

Дата	Время	t, °C	U, мВ	S _{WRR} , Вт/м ²	K, мВ/(кВт·м ⁻²)	S, Вт/м ²	ΔS, Вт/м ²
22.09.2023	11:07:30	20.5	7.874	919.54	8.563	920.18	0.64
22.09.2023	11:09:00	20.2	7.861	917.73	8.566	918.66	0.93
22.09.2023	11:10:30	20.3	7.892	920.55	8.573	922.29	1.74
22.09.2023	11:12:00	20.1	7.926	925.70	8.562	926.26	0.56
22.09.2023	11:13:30	20.1	7.889	920.86	8.567	921.94	1.08
22.09.2023	11:30:00	21.1	7.894	920.97	8.571	922.52	1.55
22.09.2023	11:31:30	21.0	7.880	920.25	8.563	920.88	0.63
22.09.2023	11:33:00	20.9	7.887	919.73	8.575	921.70	1.97
22.09.2023	11:34:30	20.8	7.911	921.68	8.583	924.51	2.83
22.09.2023	11:36:00	20.8	7.915	923.70	8.569	924.97	1.27
22.09.2023	11:37:30	20.7	7.911	923.17	8.569	924.51	1.34
22.09.2023	11:39:00	20.9	7.923	924.90	8.566	925.91	1.01
22.09.2023	11:40:30	21.1	7.907	923.90	8.558	924.04	0.14
22.09.2023	11:42:00	21.2	7.926	925.56	8.563	926.26	0.70
22.09.2023	11:43:30	21.3	7.930	926.24	8.561	926.73	0.49
22.09.2023	12:00:00	20.2	7.892	919.95	8.579	922.29	2.34
22.09.2023	12:01:30	20.3	7.893	921.28	8.567	922.40	1.12
22.09.2023	12:03:00	20.3	7.913	921.11	8.591	924.74	3.63
22.09.2023	12:04:30	20.3	7.895	920.61	8.576	922.64	2.03
22.09.2023	12:06:00	20.3	7.932	925.78	8.568	926.96	1.18
22.09.2023	12:07:30	20.3	7.915	923.94	8.567	924.97	1.03
22.09.2023	12:09:00	20.3	7.916	923.31	8.574	925.09	1.78
22.09.2023	12:10:30	20.3	7.900	921.91	8.569	923.22	1.31
22.09.2023	12:12:00	20.3	7.917	923.46	8.573	925.21	1.75
22.09.2023	12:13:30	20.3	7.929	923.80	8.583	926.61	2.81
22.09.2023	12:30:00	21.2	7.912	921.79	8.583	924.62	2.83
22.09.2023	12:31:30	21.2	7.945	925.40	8.585	928.48	3.08
22.09.2023	12:33:00	21.2	7.923	923.56	8.579	925.91	2.35
22.09.2023	12:34:30	21.2	7.888	920.35	8.571	921.82	1.47
22.09.2023	12:36:00	21.2	7.897	921.35	8.571	922.87	1.52
22.09.2023	12:37:30	22.6	7.883	918.78	8.580	921.23	2.45
22.09.2023	12:39:00	22.2	7.874	918.17	8.576	920.18	2.01
22.09.2023	12:40:30	22.1	7.877	918.79	8.573	920.53	1.74
22.09.2023	12:42:00	22.0	7.904	920.13	8.590	923.69	3.56
22.09.2023	12:43:30	22.2	7.861	916.72	8.575	918.66	1.94