



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

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(бакалаврская работа)

На тему «Оценка возможностей автоматизированного измерения атмосферных осадков»

Исполнитель **Шубин Богдан Борисович**  
(фамилия, имя, отчество)

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

«К защите допускаю»  
И.о. заведующего кафедрой

(подпись)

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

**Восканян Карина Левановна**  
(фамилия, имя, отчество)

« 1 » июня 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
1 Атмосферные осадки и основные методы их измерения.....	5
1.1. Классификация осадков.....	5
1.2. Основные методы и средства измерения осадков .....	12
1.2.1. Требования по установке осадкомеров.....	13
1.2.2. Осадкомер Третьякова О-1.....	13
1.2.3. Осадкомер суммарный М-70.....	15
1.2.4. Плувиографы .....	17
1.2.4.1. Весовой pluвиограф .....	17
1.2.4.2. Поплавковый pluвиограф .....	18
1.2.3.3. Плувиограф с опрокидывающимся сосудом.....	19
1.2.5. Преимущества и недостатки осадкомеров и pluвиографов .....	20
2 Автоматизированные средства измерения атмосферных осадков .....	22
2.1. Нефелометр FD12P .....	23
2.1.1. Устройство и принцип действия датчика FD12P.....	24
2.1.2. Области применения FD12P Vaisala .....	27
2.2. Автоматические метеостанции «Vaisala HydroMet MAWS».....	27
2.2.1. Датчики осадков станции MAWS .....	29
2.2.1.1. Осадкомер QMR102 .....	29
2.2.1.2. Осадкомер RG13.....	29
2.2.1.3. Осадкомер RG360.....	30
2.3. Осадкомер Pluvio.....	31
3 Анализ данных о суммарном количестве осадков за 2021 г. по датчикам FD12P, MAWS и Pluvio .....	34
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	48
Список использованной литературы.....	50

## Введение

Атмосферные осадки представляют собой важнейшую часть климата, оказывающую заметное влияние на хозяйственную деятельность человека и биосферу в целом. Точная и надёжная оценка количества и характеристик осадков является обязательным условием для соответствующего прогнозирования погоды и расчёта водных ресурсов.

В настоящее время существует несколько проблем при измерении атмосферных осадков, в частности репрезентативность данных о количестве осадков, так как на измерения влияют множество факторов: ветер, место установки осадкомера, окружающий рельеф местности. Также существует проблема в плотности наземной метеорологической сети, измеряющая осадки, что также ухудшает качество получаемых данных. Существующие методы дистанционного измерения и наблюдения за метеорологическими параметрами, такие как радиолокация, метеорологические спутники не в состоянии полностью заменить отсутствие наземных наблюдений. При принятии решений об обеспечении надлежащего уровня гидрометеорологической безопасности государственными органами в масштабах региона, района или страны необходим весь комплекс метеорологической информации, которая собирается по всем доступным каналам.

Измерения и анализ данных об осадках осуществляются с помощью различных методик и приборов. В нашей стране всё ещё очень распространены для измерения количества осадков осадкомеры Третьякова, которые используются с 50-х годов прошлого столетия. Несмотря на их широкое распространение, ручное измерение осадков связано с ограничениями, обусловленными человеческим фактором, оперативностью измерений и отсутствием возможности передачи данных дистанционно.

Цель данной работы – изучить виды атмосферных осадков, способы их измерения и оценить возможности автоматизированных методов и датчиков в области измерения атмосферных осадков.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть понятие атмосферных осадков, количества осадков и их интенсивность;
2. Рассмотреть классификации атмосферных осадков;
3. Рассмотреть особенности измерения количества, интенсивности и типа атмосферных осадков неавтоматизированным способом;
4. Рассмотреть работу и принцип действия автоматизированных приборов измерения атмосферных осадков.
5. Получить, обработать и проанализировать данные с автоматизированных датчиков измерения атмосферных осадков.

Объект исследования: атмосферные осадки и приборы, которые их измеряют.

Предмет исследования: данные с автоматизированных средств измерения осадков FD12P, MAWS и Pluvio.

Настоящее исследование включает в себя анализ данных о количестве атмосферных осадков, полученных с датчиков, установленных на испытательной площадке ООО «Института радарной метеорологии»: FD12P, MAWS и Pluvio. Также в работе приведён обзор существующих способах ручных и автоматизированных систем измерения осадков и их пригодности для использования. В ходе данного обсуждения будут рассмотрены и оценены возможности использования автоматизированных систем измерения осадков.

# 1 Атмосферные осадки и основные методы их измерения

Атмосферные осадки – это вода в жидком или твёрдом состоянии, выпадающая из облаков или осаждающаяся из воздуха на поверхности земли и предметах.[1] Осадки могут выпадать непосредственно как из облаков (например, ливневые – из кучево-дождевых облаков (*Cb*); обложные – из слоисто-дождевых (*Ns*) во все сезоны, из высокостроистых (*As*) – зимой и иногда слабые – из слоисто-кучевых (*Sc*); морсящие – из слоистых облаков (*St*)[6]), так и выделяться непосредственно из воздуха (роса, иней, изморозь).[2]

## 1.1. Классификация осадков

Осадки классифицируют по фазовому состоянию, форме частиц и характеру их выпадения. Рассмотрим более подробно классификацию по фазовому состоянию. По такой классификации из облаков выпадают жидкие, твёрдые и смешанные осадки (рис. 1.1).[3]



Рисунок 1.1 – Классификация атмосферных осадков по фазовому состоянию

Фазовое состояние выпадающих осадков зависит прежде всего от температурного режима, а также не мало важны условия их образования и выпадения. Эти условия определяют также и форму частиц.

Жидкие осадки:

- ✓ ливневой дождь – это кратковременный крупнокапельный (капли с максимальным диаметром до 0,6-0,7 см) дождь большой интенсивности, который выпадает из кучево-дождевых облаков. Его продолжительность составляет от нескольких минут до 1-1,5 ч. (рис. 1.2).

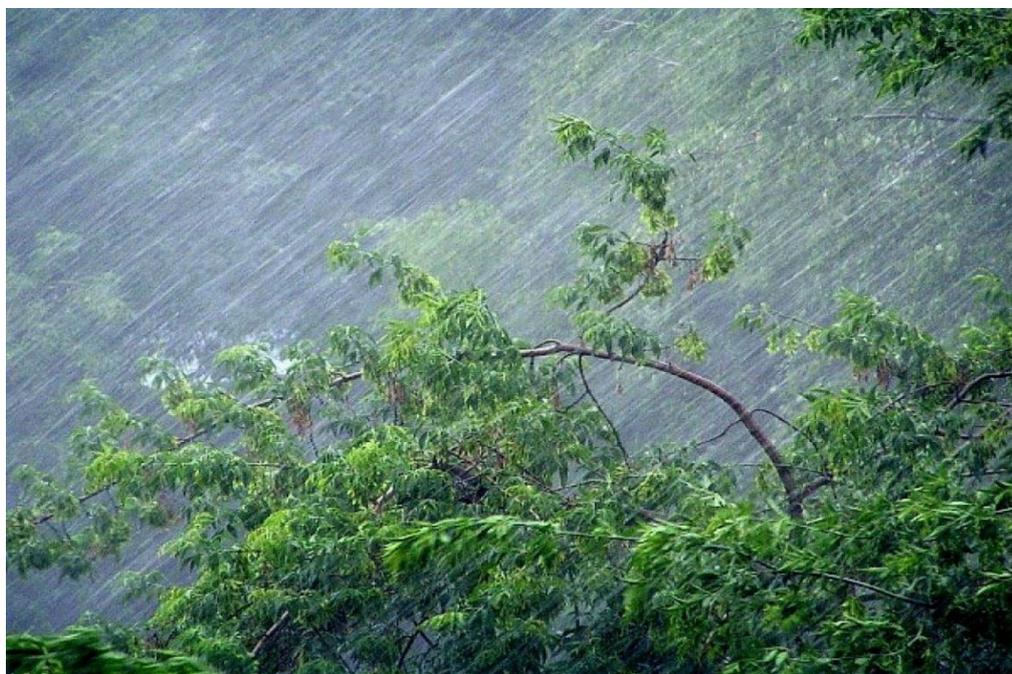


Рисунок 1.2 – Ливневой дождь

- ✓ обложной дождь – это продолжительный по времени дождь, размер капель которого от 0,01 см до 0,2 см с умеренной интенсивностью. Выпадает из слоисто-дождевых или высокосолистых облаков. Может продолжаться с перерывами или непрерывно несколько часов или несколько суток (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Обложной дождь

- ✓ морось – атмосферные осадки в виде капель диаметром не более 0,05 см, выпадающие из слоистых облаков или из тумана (рис.1.4).[1]



Рисунок 1.4 – Капли мороси[23]

Твёрдые осадки:

- ✓ снег - ледяные или снежные кристаллы (снежинки), чаще всего имеющие форму звёздочек или хлопьев (рис. 1.5);



Рисунок 1.5 – Снег

- ✓ снежная крупа - непрозрачные сферические крупинки белого или матово-белого цвета диаметром 2-5 мм (рис. 1.6);



Рисунок 1.6 –Снежная крупа[23]

- ✓ снежные зёрна - непрозрачные матово-белые палочки или крупинки диаметром менее 1 мм (рис. 1.7);



Рисунок 1.7 – Снежная крупа[23]

- ✓ ледяная крупа – ледяные прозрачные крупинки диаметром до 3 мм с непрозрачным ядром в центре (рис. 1.8);



Рисунок 1.8 – Ледяная крупа [23]

- ✓ ледяной дождь - прозрачные ледяные шарики диаметром 1-3 мм [4]. Достаточно редкое и опасное явление. Иногда внутри ледяного шарика находится незамёрзшая вода. Когда шарики падают на разные предметы, то они раскалываются, а вода, которая была внутри них сразу же замерзает на поверхности[5] (рис. 1.9);

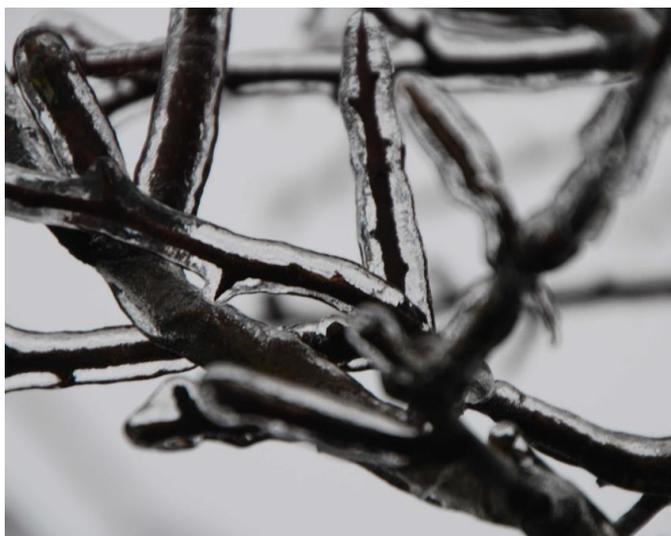


Рисунок 1.9 – Ледяной дождь[23]

- ✓ град – это осадки в виде шарообразных плотных кусочков льда (градин) различных форм и размеров (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Град

Чаще всего диаметр градин составляет 1-3 см, но в отдельных случаях может превышать 10 см. Выпадает град в основном во второй половине дня из-за максимального развития термической конвекции из кучево-дождевых облаков; имеет продолжительность от нескольких секунд до 30-40 минут.

Смешанные осадки:

- ✓ дождь со снегом или крупой – смесь снежинок и капелек либо полурастаявшие снежинки, выпадающие при температурах близких к 0°C[1].

По характеру выпадения различают обложные осадки и ливневые (рис. 1.11).

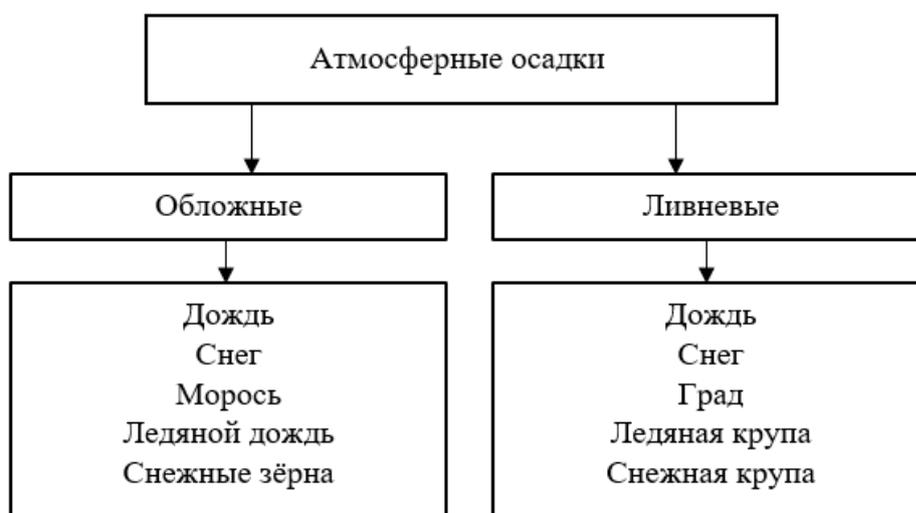


Рисунок 1.11 – Классификация атмосферных осадков по характеру выпадения

Обложные осадки выпадают из облаков слоистых форм. Определяющей характеристикой этих явлений является, прежде всего, продолжительность осадков, которая может сохраняться в течение нескольких дней или даже несколько недель. Ливневые осадки образуются в конвективных облаках или при развитии конвекции в сплошной фронтальной

облачности. Они характеризуются быстрыми изменениями интенсивности и чаще всего выпадают в течение короткого промежутка времени.[3]

## 1.2. Основные методы и средства измерения осадков

Осадки, которые выпадают на земную поверхность непосредственно из облаков, измеряются количественно толщиной слоя воды в миллиметрах (мм), который образовался бы на горизонтальной поверхности при отсутствии просачивания в землю, стекания и испарения этих осадков.[7] Количество осадков измеряется с точностью до 0,1 мм высоты слоя воды. Если осадки твёрдые, то их растапливают в тёплом помещении. Вид осадков определяется визуально.[8]

Под интенсивностью осадков понимается количество атмосферных осадков, собранных за единицу временного интервала. Согласно этому определению, данные об интенсивности осадков могут быть определены как производная величина от количества осадков, измеренных с помощью обычного осадкомера. В этом смысле интенсивность осадков является вторичным параметром, вычисленным из первичного параметра — количества осадков.[9]

На метеорологических станциях для измерения количества выпадающих на горизонтальную поверхность жидких и твёрдых осадков наиболее широко применяются относительно простые установки — осадкомеры, для определения интенсивности осадков — плювиографы. Жидкие и твёрдые осадки, осаждающиеся на поверхность земли и различные сооружения в результате конденсации водяного пара воздуха (роса, гололёд, иней), оцениваются только путём визуальных наблюдений, определением времени начала и окончания явления. Однако же осадки, которые могут оказать воздействие (полезное или вредное) на какие-либо отрасли народного хозяйства, подробно изучаются. Например, данные об образовании гололёда на проводах получают с помощью установленного на станции гололёдного

станка, определяя массу льда на погонном метре провода, форму и структуру его образования.[7]

### 1.2.1. Требования по установке осадкомеров

Все методы измерения количества осадков должны быть направлены на получение пробы, репрезентативной по отношению к истинному количеству осадков, выпадающему в исследуемом районе. Поэтому выбор места для измерений также важен, как и определение систематической погрешности измерений. Расположение осадкомеров в районе исследования имеет большое значение, так как их количество и расположение может определить, насколько репрезентативны проводимые измерения для данного района.

К регистрации локальных излишков или дефицита осадков в месте расположения осадкомера может привести влияние объектов вблизи осадкомера. Ни один объект не должен находиться ближе к осадкомеру, чем на высоте, вдвое превышающей высоту отверстия осадкомера. Следует избегать установки осадкомеров на наклонной поверхности или на крышах зданий. Место, выбранное для измерения количества выпавшего снега и/или высоты снежного покрова, должно быть максимально защищено от ветра. Лучшие места для расположения осадкомерных пунктов часто находятся на лесных полянах или в садах, среди деревьев, кустарников или в других местах, где они могут быть эффективно защищены от ветра во всех направлениях. Поверхность вокруг осадкомера может быть покрыта низкой травой, гравием или галькой, но важно избегать твёрдых гладких покрытий, например таких как бетон, с целью предотвращения излишнего попадания брызг в осадкомер.[9]

### 1.2.2 Осадкомер Третьякова О-1

Осадкомер Третьякова О-1 состоит из сосуда для сбора осадков, ветровой защиты и мерного стакана. Ветровая защита предназначена для уменьшения завихрений, образующихся при ветре вокруг и внутри

осадкомерного сосуда. В комплект осадкомера входят два сменных ведра, одна крышка к ведру, таган для установки ведра, планочная защита и два измерительных стакана. Ведро осадкомера металлическое, высотой 40 см, с приёмным отверстием 200 см<sup>2</sup>. Летом для уменьшения испарения осадков из ведра в отверстие диафрагмы вставляется воронка с небольшим отверстием. Ветровая защита состоит из 16 трапециевидных изогнутых по определённому профилю планок, подвешенных за ушки на металлическом кольце, которое с помощью четырёх (трёх) кронштейнов крепится вместе с таганом к столбу. Количество осадков, попавших в сосуд, измеряют с помощью специального мерного стакана (рис. 1.12).

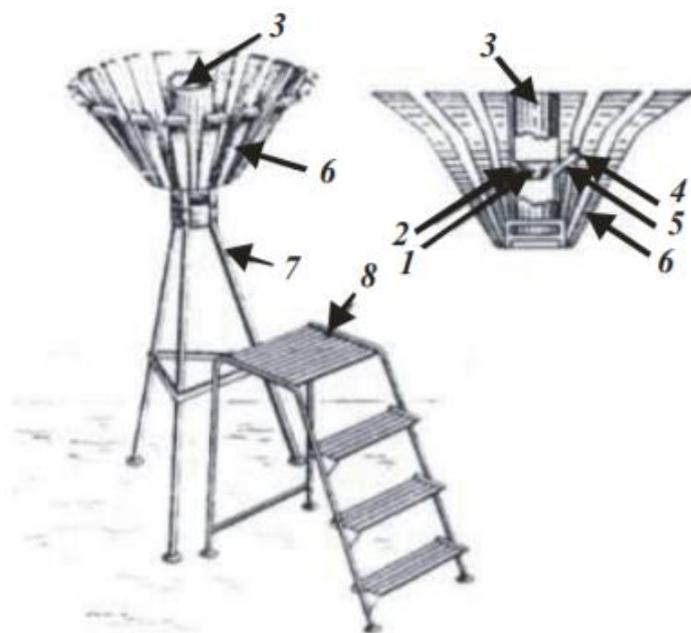


Рисунок 1.12. Осадкомер Третьякова:

1 — воронка; 2 — диафрагма; 3 — ведро; 4 — колпачок; 5 — носик; 6 — планочная защита; 7 — подставка; 8 — лестенка.

Количество собранных осадкомером осадков измеряется в установленные сроки. В срок наблюдения наблюдатель приносит пустое ведро из помещения станции, закрытое крышкой, и заменяет им ведро,

стоящее на тагане осадкомера. Затем с вновь установленного ведра снимает крышку и закрывает ею снятое ведро с осадками. Собранные осадки измеряются в помещении. Через носик ведра воду сливают в измерительный стакан, установленный на столе, и по положению уровня воды относительно его шкалы отсчитывают число делений стакана с осадками, округляя до целых делений. Если осадки твёрдые или смешанные, то измерения производят только после того, как они полностью растают. Ускорять таяние нагревом ведра запрещается — это приводит к погрешности из-за испарения части осадков.[8]

Исходя из выше сказанного, у осадкомера Третьякова имеются следующие погрешности:

- ✓ погрешность от завихрений (используется ветровая защита для её уменьшения);
- ✓ температурная (летом происходит испарение из-за высоких температур; для её уменьшения используется диафрагма);
- ✓ погрешность за счёт не учёта смачивания ведра жидкими осадками (вводится инструментальная поправка).

### 1.2.3 Осадкомер суммарный М-70

Иногда необходимо вести учёт количества осадков, выпадающих вдали от метеорологической станции в ненаселённых и труднодоступных местах. Тогда для этого используют суммарные осадкомеры. Они дают возможность измерять сумму выпавших осадков сразу за большой срок — от 3 до 12 месяцев. Такие осадкомеры должны удовлетворять некоторым требованиям. Они должны быть лёгкими для обеспечения доставки и установки в малодоступные районы (например, в горы), прочными и надёжными, что позволит им работать значительное время без присмотра и без порчи в случаях замерзания и таяния находящихся в них осадков. Слив осадков из осадкомера должен быть удобным.[10]

Осадкомер суммарный М-70 предназначен для сбора и измерения количества осадков, выпавших в течение длительного времени. Максимально измеряемое количество осадков 1500 мм. Масса прибора 120 кг. Осадкомер состоит из приёмного цилиндра-трубы (площадь приёмного отверстия 500 см<sup>2</sup>), пластиночной ветровой защиты, резервуара (водосборного сосуда) и подставки (рис. 1.13).

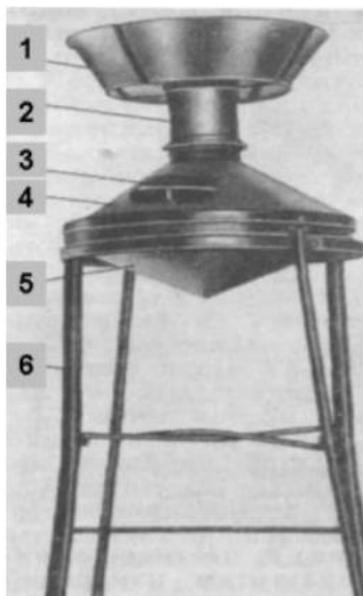


Рисунок 1.13 – Осадкомер суммарный:

1 — ветровая защита; 2 — труба; 3 — окно с задвижкой; 4 и 5 — верхняя и нижняя части водосборного сосуда; 6 — подставка

Приёмный цилиндр имеет калиброванное отверстие, через которое осадки свободно попадают в осадкосборник. Верхняя часть приёмного цилиндра окружена свободно подвешенной к стойкам конусообразной ветровой защитой. Резервуар состоит из двух соединяющихся между собой частей: верхней съёмной и нижней конусообразной. Верхняя часть резервуара имеет окно, которое плотно закрывается задвижкой. Оно служит для извлечения осадков при измерении. Для того, чтобы сохранить собранные осадки от испарения в осадкомер наливают некоторое количество

минерального масла. В установленные сроки измеряют осадки: для этого с помощью паяльной лампы подогревают нижнюю часть сосуда, если в нём имеются твёрдые осадки, до полного их таяния. Затем открывают задвижку окна и с помощью резинового шланга переливают воду в запасной сосуд, а затем измеряют осадки с помощью измерительного стакана.[8]

#### 1.2.4 Плувиографы

На станциях применяются также приборы для непрерывной регистрации количества жидких осадков и интенсивности их выпадения за любой промежуток времени. Такие приборы называются pluвиографами [10]. Преимущество автоматического измерения количества осадков заключается в том, что она может обеспечить лучшее временное разрешение, чем ручные измерения с помощью обычных осадкомеров, и имеется возможность сократить потери на испарение и смачивание. Следует отметить, что такие измерения тоже подвержены влиянию ветра. Широко применяются три типа pluвиографов: весовой, с опрокидывающимся сосудом и поплавковый. Из этих трёх типов только весовой подходит для измерения всех видов атмосферных осадков, два других в большинстве случаев используются для измерения жидких осадков.

##### 1.2.4.1. Весовой pluвиограф

В приборах данного типа ведётся постоянная запись веса контейнера вместе с собранными в нём осадками с помощью рычажных или пружинных весов. Таким образом, фиксируется вес всего количества осадков с начала их выпадения. Такие приборы необходимо конструировать так, чтобы предотвратить большие потери на испарение, которые впоследствии можно снизить дополнительно путём добавления в контейнер достаточного количества масла для создания плёнки на поверхности воды. Для уменьшения колебания весов во время сильных ветров можно использовать масляный демпфер. Приборы такого типа особенно полезны для записи

осадков в виде снега, града и смеси снега с дождём, так как для записи количества подобных твёрдых осадков их не нужно растапливать, что несомненно является преимуществом.[11]

#### 1.2.4.2 Поплавковый плювиограф

Для исследования устройства данного типа плювиографов в качестве примера рассмотрим конкретный прибор — плювиограф П-2. В этом приборе жидкие осадки попадают в поплавковую камеру, в которой находится лёгкий поплавок (рис.1.14).

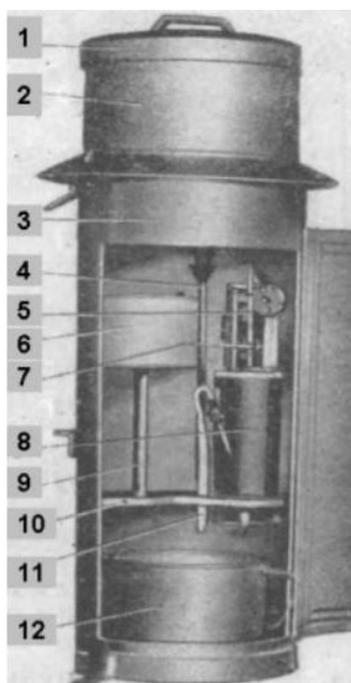


Рисунок 1.14 – Плювиограф П-2:

1 — крышка; 2 — приёмный сосуд; 3 — кожух; 4 — трубка с воронкой;  
5 — механизм принудительного слива; 6 — барабан часового механизма; 7 — перо; 8 — поплавковая камера; 9 — стойка; 10 — плата; 11 — сифон; 12 — водосборный сосуд.

Плювиограф П-2 смонтирован в металлическом кожухе 3 цилиндрической формы. Приёмником осадков служит сосуд 2 с приёмной площадью 500 см<sup>2</sup>. Конусообразное дно обращено вниз вершиной и имеет несколько отверстий для стока воды.

Осадки, попавшие в сосуд 2, стекают по сливной трубке цилиндрического сосуда и попадают в камеру 8. Поплавок, находящийся в ней, поднимается. Перо 7, поднимаемое поплавком, чертит на ленте, надетой на барабан, кривую, угол наклона которой тем больше, чем интенсивнее осадки. Для повышения надёжности слива в плювиографе П-2 используется механизм принудительного слива. В момент достижения заданного уровня воды в поплавковой камере автоматически начинает срабатывать механизм принудительного слива, погружая поплавок с ударом и тем самым резко повышая уровень воды в камере, что обеспечивает полное заполнение сифона и быстрый слив воды из камеры.[8]

### 1.2.3.3 Плювиограф с опрокидываемым сосудом

Принцип действия данного плювиографа очень прост. Лёгкий металлический контейнер (челнок), разделённый на два отделения, находится в неустойчивом равновесии относительно горизонтальной оси. В нормальном положении он опирается на один из двух ограничителей, что мешает ему окончательно перевернуться. Вода попадает из коллектора в то отделение, которое в данный момент находится выше. После того как определённое количество воды окажется в этом отделении, челнок теряет устойчивость и наклоняется к другому ограничителю. Отделения контейнера (челнока) имеют такую форму, что вода вытекает из того, которое находится в данный момент ниже. Тем временем осадки собираются в том отделении, которое находится выше. Движение челнока в тот момент, когда он наклоняется, можно использовать для приведения в действие контактного реле, с помощью которого получают запись прерывистых линий. Расстояние между

линиями соответствует времени, за которое выпадает определенное небольшое количество осадков.

Основным преимуществом прибора такого типа является то, что он позволяет получить на «выходе» электронный импульс и поэтому может быть использован для получения наблюдений на расстоянии, а также для получения одновременных наблюдений за осадками и уровнем воды, осуществляемых при помощи соответствующего самописца. Но также имеются определённые недостатки (ряд погрешностей) у данного типа:

- 1) для того, чтобы челнок наклонился, необходимо малое, но определённое количество времени. Во время первой половины движения челнока в то отделение, в котором находится уже вычисленное количество осадков, может попасть ещё какое-то их количество. Такая погрешность может стать значительной только во время интенсивного выпадения осадков;
- 2) при обычной конструкции челнока открытая поверхность воды в соотношении с объёмом довольно большая, поэтому возможны значительные потери из-за испарения. Эта погрешность будет наиболее значительной во время слабого дождя;
- 3) во время слабой мороси и очень слабого дождя прерывистый характер записи может не дать удовлетворительных данных. Также невозможно определить время начала и конца выпадения осадков.[11]

#### 1.2.5 Преимущества и недостатки осадкомеров и плювиографов

Традиционные методы измерения количества осадков, основанные на организации наземной осадкомерной сети, существуют уже более века и точность измерений количества выпавших осадков этими методами и в настоящее время всё ещё остается достаточно высоким.[12] Однако, исходя из приведённого выше обзора основных приборов для измерения осадков, следует, что они имеют несколько довольно серьёзных погрешностей, также существует сложность слива и измерения атмосферных осадков. Главный недостаток – отсутствие каналов связи для оперативного вывода и

наблюдения за осадками в режиме реального времени с помощью компьютера, что делает невозможным установку осадкомеров Третьякова и плювиографов в отдалённых и труднодоступных районах, так как для их обслуживания и непосредственного снятия данных с этих приборов необходимо участие метеоролога. Однако их низкая стоимость и отсутствие электронной «начинки» делает возможным широкое применение до настоящего времени на метеостанциях. Но метод, заключённый в осадкомерах, послужил основой для разработки и появления новых современных приборов.

## 2 Автоматизированные средства измерения атмосферных осадков

Атмосферные осадки являются одной из важнейших метеорологических величин. В детальной оперативной информации об осадках, их интенсивности, общем количестве и пространственном распределении заинтересованы многие отрасли. Одним из путей повышения качества гидрометеорологического обслуживания отраслей народного хозяйства является совершенствование материально-технического оснащения наблюдательной сети страны [12]. Это приводит к тому, что метеорологические наблюдения становятся регулярными, следовательно, им необходима сеть метеорологических станций, которая будет равномерно покрывать обширные участки земной поверхности. Из-за географических особенностей нашей страны построить равномерную сеть метеорологических станций с приборами, описанными в главе 1 данной работы, не представляется возможным. С целью восполнить пробелы в неравномерности метеорологической сети и улучшения процесса сбора метеоданных в настоящее время внедряются в работу автоматические метеорологические станции, которые весьма эффективно выполняют свои задачи в труднодоступных и малоосвоенных районах, например в районах Арктики, особенно учитывая большое внимание и участие со стороны государства в развитии и освоении данного региона.

Автоматическое измерение и обработка результатов наблюдений на метеостанциях увеличивает надёжность и репрезентативность информации о метеорологических величинах, в частности о количестве осадков благодаря применению новых технологий и объективности результатов наблюдений и обработки, значительно сокращающих ошибки персонала. Это позволяет резко повысить качество метеорологических данных за счёт максимального сокращения участия персонала в процессе их получения и передачи. При этом обеспечивается сохранение всего объёма информации.

## 2.1 Нефелометр FD12P

Нефелометр FD12P Vaisala (Финляндия) – это экономичный датчик погоды с несколькими параметрами, используемый для выполнения задач наблюдения за метеорологическими параметрами. FD12P может быть заменен целым рядом дорогостоящих и сложных в обслуживании приборов для наблюдения за погодой. Он автоматизирует многие трудоёмкие задачи по наблюдению за погодой и составлению отчетов с помощью:

- ✓ оптического датчика прямого рассеяния, который распознает туман, а также различает типы осадков;
- ✓ аналогового емкостного поверхностного датчика, который регистрирует количество попадающей на него капель воды;
- ✓ датчика температуры;
- ✓ специального алгоритма, запущенного в микропроцессоре, который вычисляет последние точные текущие значения погоды и видимости с использованием данных, собранных со всех датчиков.

FD12P максимально приближен к человеческим чувствам зрения и осязания, чтобы обеспечить точную видимость, количество осадков и текущие погодные показатели.

Функции датчика погоды FD12P:

- измеряет видимость до 50 км;
- определяет тип и интенсивность осадков;
- вычисляет накопление осадков;
- вычисляет водный эквивалент замерзших осадков;
- вычисляет накопление снега;
- сообщает о более чем 50 сводных кодах;
- отчеты представляют погоду в форматах SYNOP, METAR и NWS code.[13]

### 2.1.1 Устройство и принцип действия датчика FD12P

Принцип действия нефелометров FD12P основан на оценке ослабления светового потока в атмосфере. Технически нефелометр представляет собой оптический прибор, в котором излучатель и приёмник крепятся на кронштейне напротив друг друга так, чтобы к горизонтальной плоскости их оптически оси были направлены под углом 33 градуса. Кронштейн крепится на мачте высотой 2,5 м, которая в свою очередь устанавливается на бетонном основании. Внешний вид FD12P представлен на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Внешний вид нефелометра FD12P

Состав нефелометра:

- Излучатель FDT12B;
- Приёмник FDR12;
- Контроллер;
- Кронштейн;
- Мачта.

Излучатель состоит из инфракрасного светодиода, стабилизатора интенсивности светодиода, схемы контроля и компенсации загрязнённости окна. Приёмник состоит из фотодиода, усилителя, фильтра, А/Д конвертера, стабилизатора интенсивности фотодиода, контроллера, схемы контроля и компенсации загрязнённости окна. Линзы в излучателе и приёмники защищены от осадков специальными козырьками, которые дополнительно оборудованы обогревом (рис. 2.2).

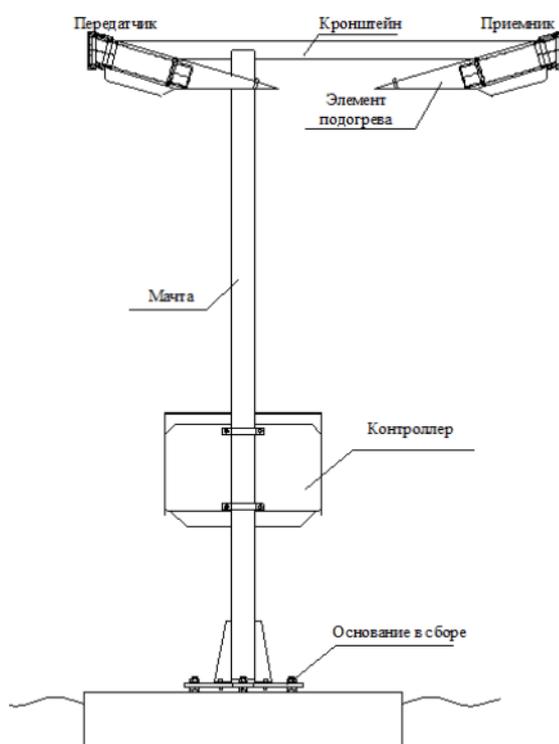


Рисунок 2.2 – Структурная схема нефелометра FD12P

В нефелометре измеряется интенсивность принятых импульсов светового потока. Далее с помощью специального запатентованного алгоритма фирмы «VaisalaOyj» преобразуется в данные метеорологической оптической дальности видимости (МОД).

В данной модификации нефелометр FD12P оборудован детектором дождя RAINCAP, который позволяет получать информацию об осадках.[14] Обнаружение начала выпадения осадков основано на измерении пиков

сигнала, вызванных каплями осадков. Пиковые амплитуды, обнаруженные в течение 10 минут, суммируются. Когда сумма превысит пороговое значение, датчик покажет количество осадков. Окончание выпадения осадков обнаруживается, когда суммарная амплитуда оптического сигнала уменьшается ниже другого, более низкого порогового значения. Интервал суммирования зависит от обнаруженной интенсивности осадков. В большинстве случаев FD12P обнаруживает, что осадки заканчиваются в течение нескольких минут, но при осадках низкой интенсивности время обнаружения может достигать 10 минут.[15]

Технические характеристики нефелометра FD12P, а именно детектора осадков, приводятся в таблице 2.1.

Таблица 2.1

#### Технические характеристики датчика FD12P

Чувствительность обнаружения осадков	- 0,05 мм/ч
Идентификация типа погоды:	- 11 различных типов осадков - туман и дымка (дым, песок)
Измерение интенсивности осадков:	- диапазон 0,00 - 999 мм/ч - точность при жидких осадках $\pm 30$ % (в диапазоне 0,5 - 20 мм/ч)
Диапазон рабочей влажности:	- до 100 % относительной влажности
Скорость ветра:	- до 60 м/с (стандартная мачта)
Ориентация на солнце:	следует избегать попадания прямых и отраженных солнечных лучей в светоприемник

## 2.1.2 Области применения FD12P Vaisala

Погодный датчик FD12P используется для определения погоды и измерения видимости в аэропортах и на удалённых метеостанциях. Нефелометр идеально подходит для полностью автоматизированного наблюдения за осадками, но также может использоваться для поддержки метеорологов-наблюдателей на полуавтоматических станциях. FD12P выводит текущие погодные коды ВМО (таблица кодов 4680), необходимые для автоматических синоптических сообщений. Также для авиации поддерживается таблица кодов ВМО 4678 для сообщений METAR.[13]

## 2.2 Автоматические метеостанции «VaisalaHydroMet MAWS»

Станции погодные автоматические MAWS предназначены для автоматических измерений следующих метеорологических параметров: температуры воздуха, температуры почвы, температуры воды, относительной влажности воздуха, скорости и направления воздушного потока, атмосферного давления, высоты облаков, метеорологической оптической дальности, количества осадков, энергетической освещённости, продолжительности солнечного сияния, уровня воды и высоты снежного покрова.

Принцип действия станций MAWS основывается на измерении первичными измерительными преобразователями метеорологических параметров. Полученные метеорологические параметры преобразуются в цифровой код контроллерами и передаются по линиям связи в центральную систему, где результаты измерений обрабатываются, отображаются на дисплее метеостанции, регистрируются и архивируются.

Станции MAWS построены по модульному принципу: измерительный модуль, модуль центральной системы, модуль электропитания, линий связи и вспомогательного оборудования.[16] Благодаря наличию комбинированной системы питания, которая включает в себя внутренний аккумулятор большой

ёмкости и солнечные батареи, автоматическая метеостанция способна работать автономно. Корпус прибора изготовлен из материалов, не поддающихся коррозии - нержавеющей сталь, алюминий, пластик.[17] Общий вид станций MAWS представлен на рисунке 2.3.

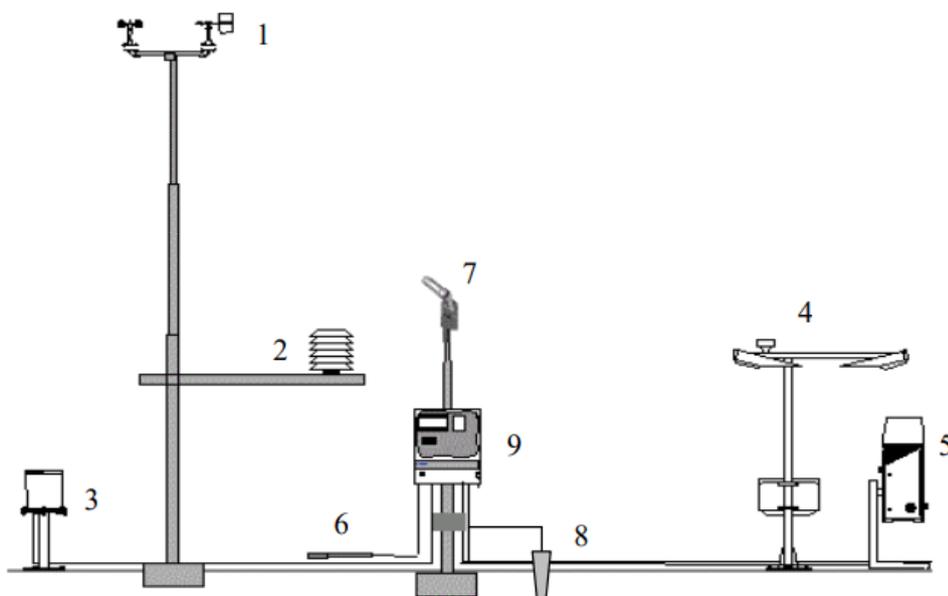


Рисунок 2.3 – Общий вид станций погодных автоматических MAWS:

- 1 – измерительные преобразователи скорости и направления воздушного потока;
- 2 – измерительные преобразователи температуры и влажности воздуха;
- 3 – измерительные преобразователи количества осадков;
- 4 – измерительные преобразователи МОД;
- 5 – измерительные преобразователи высоты облачности;
- 6 – измерительные преобразователи температуры воды (почвы);
- 7 – измерительные преобразователи энергетической освещённости и продолжительности солнечного сияния;
- 8 – измерительные преобразователи уровня воды;
- 9 – центральная система и модуль электропитания в защитном корпусе.

Станции MAWS выпускаются в 6 модификациях MAWS100, MAWS110, MAWS201, MAWS301, MAWS410, MAWS420. Основное различие между этими модификациями состоит в том, что они отличаются максимальным количеством измерительных каналов, т.е. количеством установленных датчиков, типом (исполнением) станции и схемой монтажа.[16]

### 2.2.1 Датчики осадков станции MAWS

На станциях MAWS в зависимости от модификаций устанавливаются различные датчики осадков, такие как осадкомеры фирмы Vaisala QMR102, RG13, RG360.

#### 2.2.1.1 Осадкомер QMR102

QMR102 — это осадкомер, который был специально разработан с учётом аэродинамических особенностей для смягчения влияния ветра на измерение осадков, тем самым уменьшая возможность снижения объёма захватываемых осадков. Датчик устойчив к ультрафиолетовому излучению, что придаёт прибору значительную надёжность. Накопленные осадки измеряются проверенным методом с использованием механизма "опрокидывающегося ведра" объёмом 0,2 мм. Прибор QMR102 может быть установлен как в грунте, так и с помощью дополнительной подставки. Подключается шестиметровым кабелем в комплекте с разъёмом.[18]

#### 2.2.1.2 Осадкомер RG13

Осадкомер RG13 (модификация с обогревом – RG13H) использует механизм опрокидывающегося ковша. Через приёмную воронку прибора на один из двух расположенных на коромысле ковшей, находящийся в верхнем положении стекает вода, падающая в осадкомер через апертурную диафрагму. После заполнения ковша объёмом 0,8 мл воды, что эквивалентно 0,2 мм осадков, он наклоняется. При этом вода стекает из ковша, а вода из

воронки начинает заполнять другой ковш. В момент опрокидывания происходит замыкание контактов. По количеству и частоте срабатываний измеряется величина осадков и их интенсивность.[19]

Датчик осадков RG13H, включающий нагревательный механизм, позволяет проводить мониторинг осадков при низких температурах. Устройство обладает уникальным внутренним механизмом, который активируется, когда температура опускается ниже +4°C.[18]

В таблице 2.2 приведены основные технические характеристики датчика RG13/RG13H.

Таблица 2.2

### Основные технические характеристики RG13/RG13H

Наименование характеристики	Значение	
	RG13	RG13H
Диапазон измерений толщины слоя воды, соответствующего количеству выпавших осадков, мм	от 0 до 200	
Пределы допускаемого значения относительной погрешности, % где L - толщина слоя воды, мм	$\pm (0,5 + 0,2/L)$	
Дискретность измерения толщины слоя воды, мм	0,2	
Габаритные размеры, не более, мм диаметр высота	300 390	
Масса, не более, кг	2,5	
Потребляемая мощность, не более, Вт	38	
Напряжение питания, В	~ 40	
Диаметр апертурной диафрагмы, мм	225 ± 0,2	
Площадь апертурной диафрагмы, см <sup>2</sup>	400 ± 0,7	
Условия эксплуатации: диапазон температуры окружающего воздуха, °С диапазон атмосферного давления, кПа диапазон относительной влажности, %	от 0 до +60   от -40 до +60 84 - 106,7 0 - 100	

#### 2.2.1.3 Осадкомер RG360

Датчик осадков RG360 был специально разработан для измерения дождя и осадков в удалённых и труднодоступных районах. RG360

представляет собой прибор высокого качества с возможностью производить точные измерения в течение длительного времени. Площадь воронки прибора RG360 составляет 200 квадратных сантиметров. Прибор изначально откалиброван для точной отображения 0,25 мм жидких осадков при каждом опрокидывании. Механизм опрокидывания способствует точным и последовательным измерениям, устраняет необходимость регулярного вмешательства оператора и оказывается экономически эффективным и точным в процессе эксплуатации.

Для измерения водного эквивалента твёрдых осадков используются датчики, оснащённые встроенным нагревательным механизмом. Используемые нагревательные элементы регулируются термостатическим контролем, который следит за процессом таяния и измерения водного эквивалента снега и замёрзшего дождя, одновременно предотвращая любые потери, возникающие в результате испарения. Воронка и элементы корпуса изготовлены из анодированного алюминиевого материала с белым покрытием. Элементы, отвечающие за механизм опрокидывания, изготовлены из нержавеющей стали. Воронка изготовлена из алюминия с покрытием и имеет два экрана, предотвращающих попадание листьев и других загрязняющих частиц в измеряющий механизм, таких как листья и другие виды загрязнений, в измерительный прибор. Регулируемость опор облегчает точное размещение прибора на соответствующей высоте. Более того, это позволяет пользователю настроить выравнивание прибора в соответствии со своими специфическими требованиями. Существует возможность крепления RG360 на опорную конструкцию, в частности на RGSTAND.[20]

### 2.3 Осадкомер Pluvio

OTT Pluvio<sup>2</sup> — это всепогодный осадкомер, разработанный фирмой «OTT Hydromet GmbH» (Германия). В данном датчике сочетаются прогрессивные инновационные технологии взвешивания для измерения

суммы и интенсивности дождя, снега и града. Созданный совместно с ведущими метеорологическими службами, ОТТ Pluvio<sup>2</sup> использует очень точный датчик веса и алгоритмы, компенсирующие ветер, температуру и испарение, обеспечивая наиболее точную оценку осадков в течение долгого времени.[21] Внешний вид осадкомера Pluvio представлен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Внешний вид осадкомера Pluvio фирмы «ОТТ HydrometGmbH»

Датчик осадков состоит из приёмного резервуара (из полиэтилена), установленного на поддоне. Поддон устанавливается на платформе для взвешивания, под платформой установлен весовой тензодатчик на металлическом основании с фланцем, к фланцу основания крепится труба-стояк. Поддон предохраняет тензодатчик от попадания на него влаги. На приёмный резервуар насаживается кожух из полипропилена ASA с улавливающим отверстием.

Датчик осадков имеет три модификации. Модификация ОТТ Pluvio<sup>2</sup> 200 имеет площадь улавливающего отверстия 200 см<sup>2</sup>. Модификация ОТТ Pluvio<sup>2</sup> 200 RH дополняется обогревательным элементом. Модификация ОТТ

Pluvio<sup>2</sup> 400 имеет площадь улавливающего отверстия соответственно 400 см<sup>2</sup>. [22]

### 3 Анализ данных о суммарном количестве осадков за 2021 г. по датчикам FD12P, MAWS и Pluvio

Для оценки возможностей автоматизированного измерения атмосферных осадков был сформирован архив данных количества осадков с нефелометра FD12P Vaisala (Финляндия) и с автоматической метеорологической станции MAWS Vaisala (Финляндия) за январь 2021 г., установленных на площадке ООО «Институт радарной метеорологии» (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Экспериментальная площадка ООО «Институт радарной метеорологии»

По полученным данным построены графики суммарного количества осадков за 10-минутный период (рис. 3.2, рис. 3.3).



Рисунок 3.2 – График количества осадков за 10-минутный период за январь 2021 г. по датчику FD12P



Рисунок 3.3 – График количества осадков за 10-минутный период за январь 2021 г. по датчику MAWS

Анализируя графики и рассчитанные статистические характеристики по полученным данным о суммарном количестве осадков можно сделать следующие выводы. Не все случаи выпадения осадков фиксируются MAWS, когда в то же время они фиксируются FD12P и наоборот. Показания с датчика MAWS по сравнению с показаниями с датчика FD12P в большинстве случаев выпадения осадков завышены. Среднее количество осадков по датчику FD12P – 0,01 мм, тогда как по датчику MAWS – 0,02 мм. Максимальные значения количества осадков за месяц также различаются. Так по датчику FD12P максимальное значение – 0,5 мм, а по датчику MAWS – 1,7 мм. Чтобы наглядно продемонстрировать расхождение данных была вычислена разница количества осадков между FD12P и MAWS и построен соответствующий график (рис. 3.4).

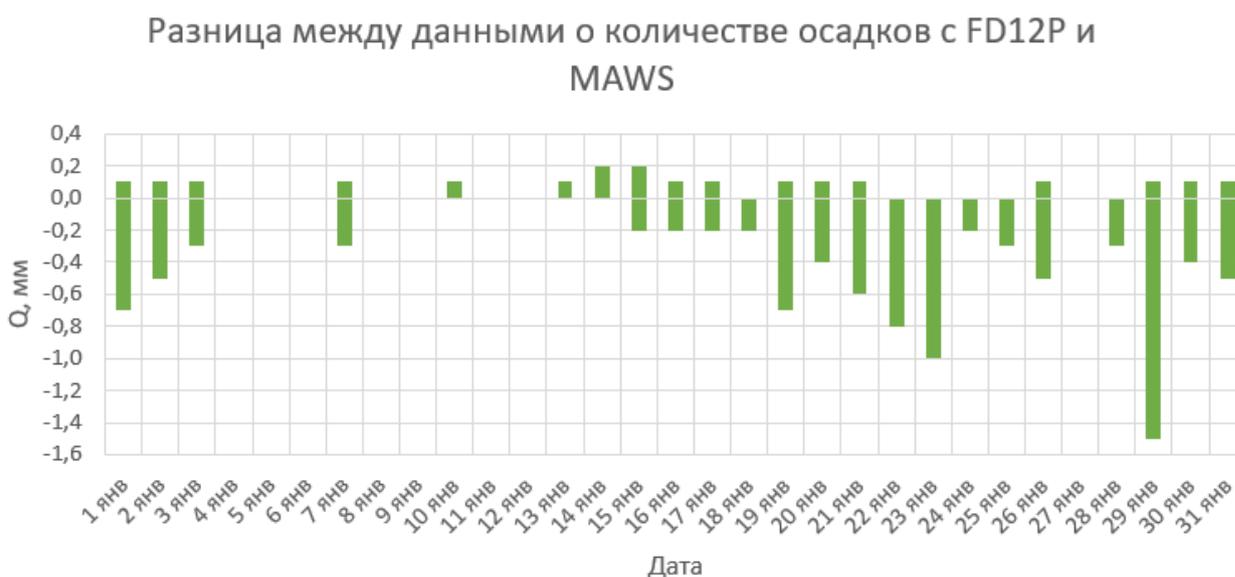


Рисунок 3.4 – График количественной разницы между данными о суммарном количестве осадков с датчиков FD12P и MAWS за январь 2021 г

Исходя из графика (рис. 3.4) видно, что на протяжении января 2021 г. наблюдается отрицательная разница в данных. Это свидетельствует о занижении показаний с FD12P, то есть датчик MAWS передаёт более

высокие показания. Это можно объяснить особым расположением датчиков на площадке ООО «Института радарной метеорологии» и, следовательно, различным направлением ветра.

Более подробно следует рассмотреть даты, в которые отрицательная разница наибольшая. Так 29 января разница составила -1,5 мм, ветер восточно-северо-восточный и в некоторые моменты времени юго-восточный. 23 января -1,0 мм, ветер юго-западный. 22 января -0,8, ветер юго-юго-восточный. 21 января -0,6 мм, ветер юго-восточный. 20 января -0,4, ветер западно-юго-западный. 19 января -0,7, ветер западно-юго-западный. А в дни, когда разница в данных была положительная ветер был с противоположным направлением. 14 и 15 января разница составила +0,2 мм с восточным и северо-восточным ветром. Таким образом, можно предположить, что причиной в несовпадении данных с разных датчиков является их неверное расположение на площадке, так как рядом стоящее здание влияет на направление ветра, что ведёт за собой различное попадание осадков на приёмные части датчиков.

Экссесс в обоих датчиках положительный за январь 2021 года и составляет 30,56 и 54,19 у FD12P и MAWS соответственно. Такие большие значения эксцесса говорят о том, что кривая распределения количества осадков имеет более остроконечную вершину, чем нормальное распределение. Для наглядного представления были построены следующие гистограммы (рис. 3.5, 3.6).

Положительный эксцесс обычно говорит о том, что ряд распределения не соответствует нормальному закону, а также может указывать на наличие выбросов в ряду. Однако по гистограммам видно, что большинство значений количества осадков находятся в диапазоне от 0 до 0,1 мм, то есть в ряду имеются большое количество дней без осадков – 0 мм. Следовательно, наличие выбросов в ряду исключается.

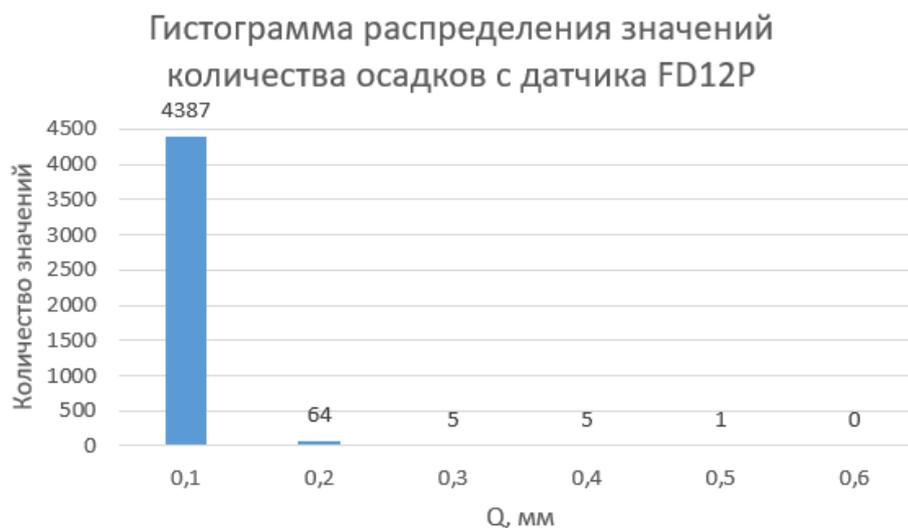


Рисунок 3.5 – Гистограмма распределения значений количества осадков с датчика FD12P за январь 2021 г

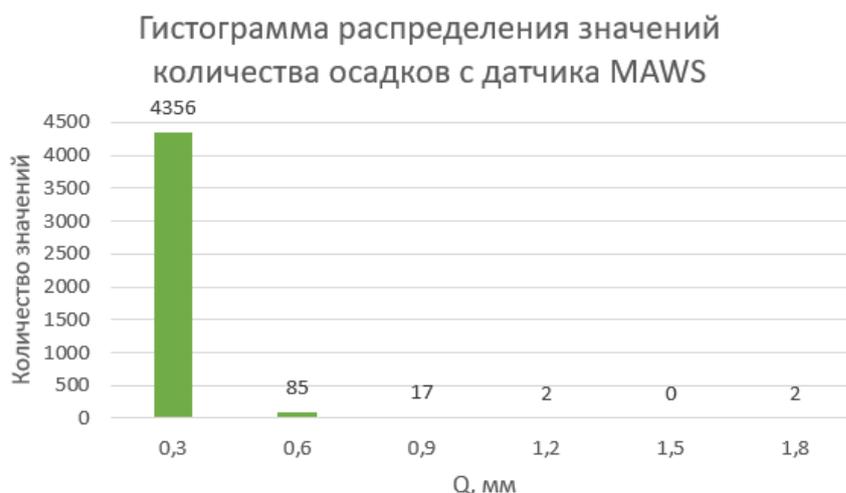


Рисунок 3.6 – Гистограмма распределения значений количества осадков с датчика MAWS за январь 2021 г

По данным суммарного количества осадков за январь 2021 г. рассчитан и оценён коэффициент корреляции между двумя рассматриваемыми датчиками. Он составил 0,602, следовательно, по шкале Чеддока связь между двумя датчиками заметная, но не является абсолютной. Это может быть интерпретировано как то, что изменения в данных с одного датчика с

высокой вероятностью приведут к соответствующим изменениям в данных второго датчика, но могут существовать и другие факторы, которые также влияют на показания датчиков (например, рассмотренные выше изменения направления ветра) и могут приводить к некоторым отклонениям.

Для более точной и объективной оценки возможностей автоматизированного измерения атмосферных осадков с датчиков FD12P и MAWS было продолжено формирование архива данных суммарного количества осадков за 10-минутный период. Таким образом, составлены и подготовлены для анализа измерения за весь 2021 год. За каждый месяц определены среднее и максимальное количество суммарных осадков, которые представлены в сравнительной таблице 3.1.

Таблица 3.1

Сравнительная таблица средних и максимальных значений суммарного количества осадков по данным датчиков FD12P, MAWS и PLUVIO за 2021 г

Месяц Q, мм	Среднее знач. (FD12P)	Среднее знач. (MAWS)	Среднее знач. (PLUVIO_I)	Макс. знач. (FD12P)	Макс. знач. (MAWS)	Макс. знач. (PLUVIO_I)
Январь	0,01	0,02		0,5	1,7	
Февраль	0,02	0,04		0,5	1,8	
Март	0,02	0,05		1,0	3,1	
Апрель	0,01	0,01		0,8	2,0	
Май	0,03			3,8		
Июнь	0,00			1,3		
Июль	0,01			5,3		
Август	0,02			3,1		
Сентябрь	0,01	0,03	0,00	3,6	64,5	0,4
Октябрь	0,01	0,06	0,02	1,9	6,3	1,6
Ноябрь	0,02	0,09	0,03	1,3	5,1	1,3
Декабрь	0,02	0,05	0,01	0,8	2,0	0,5

Необходимо отметить, что с 11 апреля по 16 сентября отсутствуют данные об осадках с датчика станции MAWS. Сравнить показания FD12P с MAWS не представляется возможным. 17 сентября было возобновлено получение данных с MAWS, но сразу после этого было зафиксировано 64,5 мм осадков. В то же время по данным с FD12P 17 сентября измерено 0,1 мм осадков, следовательно, значение 64,5 мм является сбоем в измерениях. В тот же день начал свою работу датчик PLUVIO "OTTHydrometGmbH" (Германия).

Анализируя средние и максимальные значения количества осадков за февраль - декабрь 2021 года можно сказать, что тенденция завышения показаний датчика MAWS по сравнению с показаниями с FD12P в январе 2021 имеет своё продолжение на протяжении всего года. Максимальные значения количества осадков сильно различаются у FD12P и MAWS. Тогда как анализируя данные за период с сентября по декабрь – месяцы, когда стал эксплуатироваться для измерения количества осадков датчик PLUVIO, можно заметить, что средние и максимальные значения FD12P схожи с данными датчика PLUVIO. Данные с датчика MAWS оказались также завышены по сравнению с PLUVIO. Например, в ноябре максимальные значения датчиков FD12P и PLUVIO совпали – 1,3 мм. В сентябре наблюдается сильное расхождение в максимальных значениях, что объясняется началом наблюдений на PLUVIO 17 сентября, а не с начала месяца. В остальные месяцы (октябрь, ноябрь и декабрь) расхождения в данных не столь значительны.

Для детального рассмотрения завышения данных со станции MAWS необходимо провести сравнительный анализ измеренного количества осадков между двумя различными сезонами года на примере марта и ноября 2021 года. С этой целью построены графики количества осадков с FD12P и MAWS в марте 2021 года (рис. 3.7, 3.8).



Рисунок 3.7 – График количества осадков за март 2021 г. по датчику FD12P



Рисунок 3.8 – График количества осадков за март 2021 г. по датчику MAWS

Значения разницы между показаниями FD12P и MAWS в марте 2021 года рассчитаны и отражены на графике (рис. 3.9).

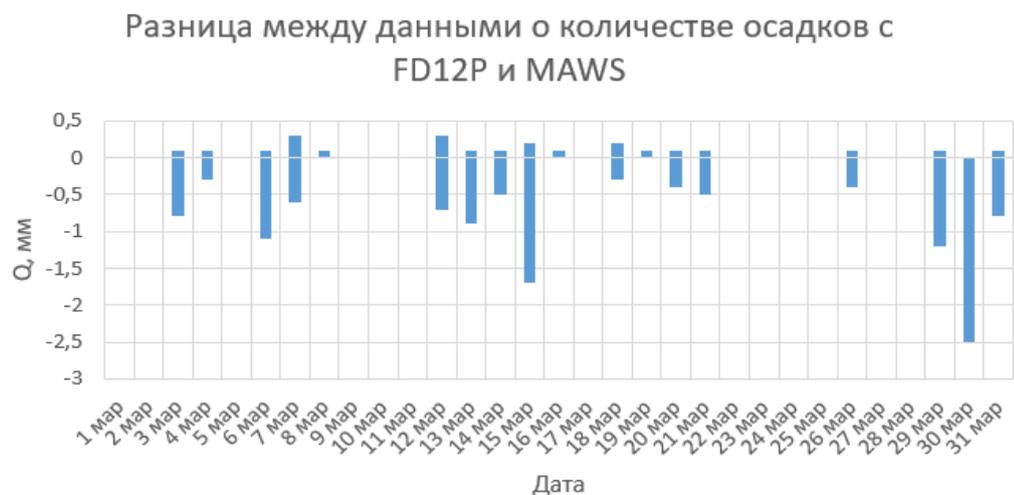


Рисунок 3.9 – График количественной разницы между данными о суммарном количестве осадков с датчиков FD12P и MAWS за март 2021 г

Как видно по вышеприведённым графикам, данные по датчику MAWS количественно завышены по сравнению с датчиком FD12P. Также даты, в которые наблюдались максимальные значения количества осадков не совпадают. По FD12P это 6 марта, а по MAWS – 30 марта. Вычисленная разница в данных, как и в январе 2021 года оказалась отрицательной, что также свидетельствует о завышении данных с MAWS. Далее были построены аналогичные графики за ноябрь 2021 года (рис. 3.10-3.12).



Рисунок 3.10 – График количества осадков за 10-минутный период за ноябрь 2021 г. по датчику FD12P

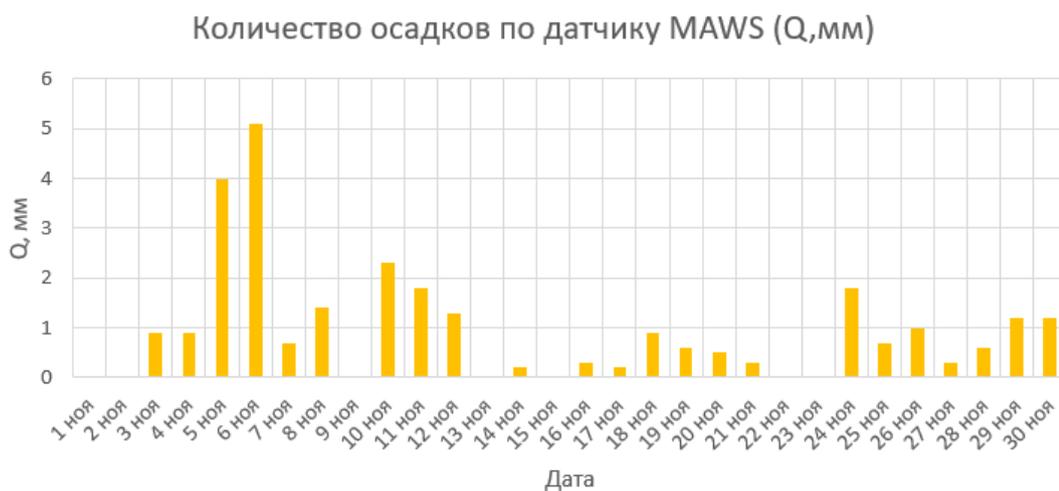


Рисунок 3.11 – График количества осадков за 10-минутный период за ноябрь 2021 г. по датчику MAWS



Рисунок 3.12 – График количества осадков за 10-минутный период за ноябрь 2021 г. по датчику PLUVIO

Как и в предыдущие рассмотренные месяцы, в ноябре наблюдается такая же тенденция завышения данных с датчика MAWS по сравнению уже не только с FD12P, но и с Pluvio. Значения количества осадков FD12P и Pluvio находятся в пределах до 1,5 мм, когда как данные с MAWS достигают 5 мм. Таким образом, можно сделать вывод, что тенденция завышения

данных о суммарном количестве осадков со станции MAWS наблюдается в течении всего 2021 года и на неё не влияет смена сезонов.

В рамках исследования была рассчитана сумма осадков за каждый месяц по рассматриваемым датчикам. Результаты приводятся в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Суммы количества осадков за каждый месяц 2021 года  
с датчиков FD12P, MAWS и PLUVIO

	FD12P	MAWS	PLUVIO
Январь	45,0	109,7	
Февраль	71,0	172,2	
Март	93,7	221,8	
Апрель	39,1	39,1	
Май	133,6		
Июнь	10,4		
Июль	45,0		
Август	80,9		
Сентябрь	62,6	109,4	9,1
Октябрь	53,9	278,4	74,7
Ноябрь	105,8	404,8	108,4
Декабрь	104,1	206,2	60,1
Итого	845,1	1541,6	252,3

Не смотря на отсутствие данных с MAWS в период с мая по август, сумма количества осадков за весь 2021 год намного превышает сумму осадков по датчику FD12P: 1541,6 мм против 845,1 мм соответственно. Это ещё раз доказывает вывод о завышении данных с датчика MAWS. Сравнить полученные значения с осадкомером Pluvio, к сожалению, не представляется возможным, в связи с его установкой в сентябре 2021 г.

По данным суммарного количества осадков за периоды январь – апрель и сентябрь – декабрь 2021 года рассчитаны и оценены коэффициенты

корреляции между рассматриваемыми датчиками. Результаты расчёта приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Коэффициенты корреляции между датчиками FD12P, MAWS и PLUVIO за  
2021 год

	Корреляция между FD12P и MAWS	Корреляция между FD12P и PLUVIO	Корреляция между MAWS и PLUVIO
Январь	0,60		
Февраль	0,70		
Март	0,79		
Апрель	0,36		
Сентябрь	0,01	0,79	0,80
Октябрь	0,82	0,83	0,99
Ноябрь	0,82	0,80	0,97
Декабрь	0,64	0,61	0,93

Исходя из приведённых коэффициентов корреляции, по шкале Чеддока в январе, феврале и декабре присутствует заметная корреляция между двумя датчиками, а именно FD12P и MAWS. Это означает, что существует заметная положительная связь между ними.

В марте, октябре и ноябре корреляция оценивается как высокая, следовательно, данные этих двух датчиков сильно связаны между собой, то есть изменения в одном ряду влияют на другой ряд. Данные коррелируют между собой, то есть они совместно изменяются. При этом высокая корреляция не означает причинно-следственную связь между ними, но свидетельствует о том, что между датчиками существует некоторое взаимодействие.

В апреле корреляция оценивается как слабая, так как именно в середине апреля с датчика MAWS перестают поступать данные о количестве

осадков. Если корреляция слабая, то значит, что между двумя датчиками есть небольшая связь, которая не имеет статистической значимости. В этом случае, изменения значений одной переменной не предсказывают изменения другой переменной. Но это не означает, что между ними нет никакой связи – она может быть присутствовать, но слишком слабой, чтобы её можно было увидеть через корреляционный анализ.

В сентябре корреляция между FD12P и MAWS отсутствует, так как в первой половине сентября данные не поступали, а 17 сентября зафиксировано сбойное измерение – 64,5 мм.

Корреляцию между датчиками FD12P и MAWS с сентября по ноябрь можно оценить как высокую. В декабре корреляция между этими двумя датчиками заметная.

Корреляция между датчиками MAWS и PLUVIO оценивается как высокая и весьма высокая. Такая степень корреляционной связи ранее между другими парами датчиков не наблюдалась. Это означает, что изменение показаний одного из датчиков связано с изменением показаний другого датчика в высокой степени. Если один датчик показывает высокое количество осадков, то скорее всего и второй датчик также покажет высокое количество осадков. Следовательно, можно предположить, что оба датчика работают правильно и надёжно, и их показания можно использовать для точного мониторинга осадков. Но по изложенному выше анализу, датчик MAWS на протяжении всего 2021 года имеет особенность завышать значения суммарного количества осадков, что может быть объяснено неправильной установкой на испытательной площадке.

Кроме того, причина может быть в методе измерения, на основе которого работает прибор. Поскольку у осадкомера станции MAWS опрокидывается ковшик, объём которого эквивалентен 0,2 мм осадков, то при наличии жидких осадков большой интенсивности, датчик может «захлебываться» и давать завышенные показания. Но это по большей степени

предположения. Чтобы подтвердить данное предположение необходимо видеть это своими глазами.

Таким образом, можно высказать гипотезу о том, что если бы датчик MAWS был установлен правильно, то его показания могли бы практически совпасть с показаниями PLUVIO.

## Заключение

В ходе исследования были проанализированы современные приборы и методы, которые используются для измерения атмосферных осадков, а также рассмотрены принципы их работы. Для достижения цели данной работы были решены следующие задачи:

1. рассмотрено понятие атмосферных осадков, количества осадков и их интенсивность;
2. рассмотрены 3 классификации атмосферных осадков по фазовому состоянию, характеру выпадения и форме частиц;
3. рассмотрены особенности измерения количества и типа атмосферных осадков осадкомером Третьякова, суммарным осадкомером и несколько видов pluviографов;
4. рассмотрены работа и принцип действия датчиков MAWS, FD12P и Pluvio;
5. получено, обработано и проанализировано около 90000 значений о суммарном количестве осадков за 2021 год с автоматизированных датчиков измерения атмосферных осадков.

Важным шагом в данном исследовании было формирование и анализ архива данных суммарного количества осадков за 2021 год с трёх датчиков: MAWS, FD12P и Pluvio. С помощью данного архива были получены результаты, которые позволили оценить эффективность и точность использования, а именно:

- ✓ выявлен датчик, данные которого по сравнению с двумя другими завышает количество осадков – MAWS;
- ✓ выявлена связь завышения данных с особым расположением датчиков на испытательной площадке ООО «Института радарной метеорологии»;
- ✓ из-за расположения датчиков выявлено влияние ветра на результаты измерений.

Были проанализированы преимущества и недостатки каждого метода и инструмента, а также рассмотрены возможности их применения на наземной сети метеорологических станций. Основываясь на полученных результатах, можно сделать вывод о высокой эффективности использования автоматизированных датчиков измерения атмосферных осадков и имеют ряд преимуществ перед традиционными методами, так как с их помощью можно получать данные в непрерывном режиме и на любом расстоянии, что позволяет их использовать без постоянного участия специалиста, то есть устанавливать такие датчики в удалённых районах и местностях.

В заключение, можно отметить, что автоматизированные методы измерения атмосферных осадков имеют большой потенциал и будут продолжать развиваться в будущем. Результаты данной работы могут быть использованы для разработки новых методов и инструментов, а также для оптимизации существующих систем измерения атмосферных осадков.

## Список использованной литературы

1. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты: [Утв. Центр. комис. по приборам и методам получения и перераб. гидрометеорол. информ. Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природ. среды 26. 12. 78].
2. Попов В.Б. Метод восстановления полей осадков по наземным и радиолокационным данным с высоким пространственно-временным разрешением для территории Санкт-Петербурга: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, 2018 г.
3. Шишкин Н.С. Облака, осадки и грозное электричество: Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1964 г.
4. Моргунов В. К. Основы метеорологии, климатологии. Метеорологические приборы и методы наблюдений: Учебник / В. К. Моргунов. — Ростов/Д. : Феникс. — Новосибирск: Сибирское соглашение, 2005. — 331 с. — с ил. (Высшее образование).
5. Интернет -источник: <https://meteo59.ru/book/yavleniya/osadki.php>.
6. Атлас облаков / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Гл. геофиз. обсерватория им. А.И. Воейкова ; [Д. П. Беспалов и др. ; ред.: Л. К. Сурыгина]. – Санкт-Петербург: Д’АРТ, 2011. – 248 с.
7. Подрезов А.О., Стрижанцева О.М., Ким Н.С. Гидрометеорологический практикум. Часть 1. Методы и средства метеорологических наблюдений / Под ред. О.А. Подрезова. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2004. – 200 с.
8. Толмачева Н.И., Тимофеева А.Г. Т52 Средства измерений гидрометеорологического назначения: учеб. пособие / Н.И. Толмачева, А.Г. Тимофеева; Институт повышения квалификации Росгидромета – Москва, 2017. – 223 с.
9. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений ВМО-№ 8 © Всемирная метеорологическая организация, 2014

10. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и наблюдения; Гидрометеорологическое издательство – Ленинград, 1968 г.
11. ВМО-№ 168. Руководство по гидрологической практике. Том 1. Гидрология: от измерений до гидрологической информации. — 6 издание. — 2011 г.
12. К.Л. Восканян, А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова, А.С. Солонин К вопросу о методике радиолокационного измерения интенсивности атмосферных осадков: Ученые записки № 27.
13. Брошюра Vaisala Weather Sensor FD12P.
14. Приложение к свидетельству №49528 об утверждении типа средств измерений. Нефелометры FD12/FD12P.
15. Vaisala FD12P User Manual, май2002г.
16. Приложение к свидетельству № 54825 Лист №1 об утверждении типа средств измерений: описание типа средства измерений Станции погодные автоматические MAWS.
17. Интернет-источник: <http://www.windprofiler.ru/node/45#prettyPhoto>.
18. VAISALA Каталог. Описание метеорологического оборудования AWS310.
19. Интернет-источник:  
<https://fgisarshin.ru/index.php?route=tool/pdf&path=71028/14896-01.pdf>
20. VaisalaHydroMet™ Станция MAWS Руководство пользователя, январь 2006 г.
21. Сайт фирмы ОТТ HydroMet:  
<https://www.ott.com/products/meteorological-sensors-26/ott-pluvio2-weighing-rain-gauge-963/>
22. Приложение к свидетельству № 34342/1 Лист № 1 об утверждении типа средств измерений: Описание средства измерений Датчики атмосферных осадков ОТТ Pluvio<sup>2</sup> 200; ОТТ Pluvio<sup>2</sup> 200 RH и ОТТ Pluvio<sup>2</sup> 400.
23. Сайт международного атласа облаков Всемирной метеорологической организации <https://cloudatlas.wmo.int/ru/>