



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, экологии и природопользования

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)  
по направлению подготовки 05.03.05 Прикладная гидрометеорология  
(квалификация – бакалавр)

На тему «Сравнительный анализ системы измерений гидрометеорологических  
показателей в сети стран ВМО»

Исполнитель Труштин Денис Витальевич

Руководитель к.г.н., доцент Дымов-Иванов Виктор Васильевич

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

«19» июня 2024 г.

Филиал Российского государственного  
гидрометеорологического университета в г. Туапсе

НОРМОКОНТРОЛЬ ПРОЙДЕН

«17» июня 2024

*Д. Труштин* *Щербак*  
ПОДПИСЬ АССИСТЕНТА ПОДПИСИ

Туапсе  
2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Общая характеристика гидрометеорологических наблюдений за рубежом .....	4
1.1 Характеристика зарубежной гидрометеорологической сети .....	4
1.2 Общие требования к метеорологическим станциям .....	9
1.3 Всемирная метеорологическая организация (ВМО) глобальная система обработки данных .....	15
2 Анализ особенностей гидрометеорологических измерений за рубежом.....	19
2.1 Особенности метеорологических наблюдений и измерений в США....	19
2.2 Особенности метеорологических наблюдений и измерений в Австралии .....	35
2.3 Особенности метеорологических наблюдений и измерений в Китае и Японии.....	44
3 Сравнительный анализ системы измерений гидрометеорологических показателей в сети стран ВМО .....	50
Заключение .....	55

## Введение

В 21-м веке все большее распространение получают новые технологии, осуществляющие процессы контроля, анализа, мониторинга и возможного решения их результата в автоматическом режиме. Не стало исключением и метеорологическая служба. Наибольшее распространение применения автоматических приборов получило за рубежом. Тема работы является актуальной, так как в современном мире большим спросом пользуются зарубежные технологии измерений, старые «классические» приборы сменяются аналогами. Современный метеоролог должен их знать, различать и уметь ими пользоваться.

Данная работа посвящена производству метеорологических измерений за рубежом, их анализу и сравнению.

Объектом исследования являются зарубежные метеостанции. Предметом исследования выступают особенности зарубежных метеорологических измерений.

Цель работы исследовать особенности гидрометеорологических измерений за рубежом

Для осуществления данной цели поставлены следующие задачи:

1. Дать общую характеристику гидрометеорологическим наблюдениям за рубежом;
2. Провести анализ особенностей гидрометеорологических измерений за рубежом.

Структура работы: состоит из введения, двух глав, заключения, списка литературы, приложений.

Информационно-методическим обеспечением для выполнения работы являются: научная литература, климатические справочники, наставления, методические указания, фондовые материалы метеорологических наблюдений по зарубежным станциям по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, интернет-ресурсы.

# 1 Общая характеристика гидрометеорологических наблюдений за рубежом

## 1.1 Характеристика зарубежной гидрометеорологической сети

Гидрометеорологическая сеть — это собирательное название для группы организаций, которые проводят метеорологические и гидрологические наблюдения. Такие сети есть почти во всех странах мира. Их цель — получать больше данных о погоде и гидрологическом режиме. Деятельность этих сетей согласуется Всемирной метеорологической организацией.

Синоптикам необходимы, метеорологические сети наблюдения для отслеживания погодных изменений в краткосрочном и долгосрочном времени. Они должны следить за системой не только в одной точке, но и собирать данные со множества станций, чтобы получить полную картину погодных условий.

Для того чтобы синоптики могли оценить динамику погоды, необходимо отслеживать её изменения по всем станциям. Это позволяет получить полную картину погодных условий в масштабах всей страны.

Национальная метеорологическая служба определяет места расположения станций и создаёт «сеть», в рамках которой они будут проводить наблюдения. Совместная работа станций позволяет определить условия погоды, влияющие на страну, и составить прогнозы. Существуют различные типы сетей наблюдения:

— в каждой стране есть сеть наземных метеорологических станций, которые ежедневно отслеживают изменения погоды, измеряя базовые переменные: температуру, давление, скорость и направление ветра, относительную влажность воздуха, облачность и осадки.

— Большинство национальных гидрометеорологических служб (НГМС) в рассматриваемых странах также ответственны за обеспечение работы национальной гидрометеорологической сети, которая включает в себя гидрометстанции и посты, регистрирующие осадки и уровень воды в реках и

водоёмах. Эта задача частично повторяет работу наземных метеорологических станций и иногда совмещается с ней.

— Некоторые НГМС располагают сетью агрометеорологических станций, которая обычно представляет собой совокупность наземных метеорологических станций. В дополнение к основным параметрам, эти станции измеряют влажность почвы на разных глубинах.

Одной из составляющих гидрометеорологической сети является метеостанция. (приложение 1,2).

Метеостанция — это специальное учреждение, которое обладает метеоплощадкой, удовлетворяющей определённым требованиям. На этой площадке установлены стандартные приборы для непрерывных метеорологических измерений. Измерения проводятся в установленные сроки по единой методике в определённой последовательности. Собранные данные передаются в Гидрометцентр или другим потребителям.

Впубликации ВМО подробно изложены требования в отношении техвеличин, за которыми должны проводиться наблюдения, в соответствии с типом станции наблюдательной сети.

На станции, предназначенной для приземных наблюдений, проводятся наблюдения за следующими величинами:

- текущая и прошедшая погода;
- направление и скорость ветра;
- облачность;
- видимость;
- температура воздуха; относительная влажность;
- атмосферное давление;
- осадки;
- снежный покров;
- солнечное сияние и/или солнечное излучение;
- температура почвы;
- испарение.

Все приведенные величины измеряются инструментальным методом, за исключением формы и типа облачности.

На некоторых метеорологических станциях проводятся аэрологические измерения, измерения влажности почвы, озона и состава атмосферы, а на некоторых из них используются системы специальных приборов.

Благодаря автоматическим приборам можно измерить большинство метеорологических параметров, которые необходимы для прогнозирования погоды, изучения климата и обеспечения безопасности полётов. По мере расширения возможностей автоматических систем постоянно увеличивается соотношение между полностью автоматизированными метеорологическими станциями и метеорологическими станциями, обслуживаемыми наблюдателями (с автоматическим приборным обеспечением или без него).

Услуги метеорологов-наблюдателей важны по нескольким причинам:

- проведение синоптических и/или климатологических наблюдений с помощью соответствующих приборов с необходимой степенью неопределённости и репрезентативности;
- поддержание в рабочем состоянии приборов, документации, метаданных и мест наблюдения;
- кодирование и передача результатов наблюдений при отсутствии автоматических систем кодирования и связи;
- обслуживание регистрирующих устройств на местах, включая замену регистрационных лент при необходимости;
- подготовка или сбор недельных и/или месячных сводок климатологических данных в случае отсутствия или неадекватности автоматических систем;
- обеспечение дополнительных или дублирующих наблюдений, если автоматическое оборудование не позволяет отслеживать все необходимые показатели или выходит из строя;
- реагирование на запросы населения и специалистов. Наблюдатели должны пройти профессиональную подготовку и/или быть

аттестованы уполномоченной метеорологической службой для констатации их компетенции проводить наблюдения в соответствии с требуемыми стандартами. Они должны быть способны интерпретировать инструкции по использованию приборного обеспечения и ручных методов работы, применяемых к их собственным конкретным системам наблюдений.

Метеорологические станции организуются таким образом, чтобы репрезентативные измерения или наблюдения можно было проводить в соответствии с типом данной станции. Так, на станции, входящей в синоптическую сеть, должны проводиться наблюдения для удовлетворения потребностей в данных в синоптическом масштабе, в то время как на авиационной метеорологической наблюдательной станции должны проводиться наблюдения, дающие описания конкретных условий для местного пункта (аэродрома). В тех случаях, когда станции используются для нескольких целей, например для целей авиации, синоптических и климатологических целей, наиболее строгое требование будет диктовать точное положение места наблюдений и соответствующих средств измерений.

Местоположение станции, ссылка на которое делается в Геодезической модели Земли 1996 года Всемирной геодезической системы 1984 года, должно быть точно известно и зарегистрировано.

Координатами станции являются:

- широта в градусах с разрешением 1:1000;
- долгота в градусах с разрешением 1:1000;
- высота станции над средним уровнем моря, то есть расстояние по вертикали от этого уровня до станции, определённая с точностью до метра.

Высота станции определяется как расстояние по вертикали между средним уровнем моря того участка земли, на котором установлен осадкомер, или, если осадкомер отсутствует, то участком, на котором размещена метеорологическая будка. Если нет ни осадкомера, ни метеорологической будки, то это средний уровень территории вблизи станции [2].

Если со станции поступает информация о давлении, то должна

конкретно указываться высота, на которой определяется атмосферное давление на станции. Это тот уровень, к которому относятся значения барометрического давления на станции; такие барометрические величины называются «давление на уровне станции» и означают ссылку на данный уровень с целью сохранения непрерывности рядов данных по атмосферному давлению.

Если станция находится на аэродроме, то должны также указываться другие высоты. Определения мер высоты и среднего уровня моря даны в публикации ВМО.

Замены приборного обеспечения и однородность показаний приборов.

При выборе места для проведения наблюдений важно учитывать возможные изменения, связанные с ростом деревьев, возведением зданий на соседних участках и другими факторами. Чтобы минимизировать воздействие этих изменений, необходимо выбирать места, где такие воздействия будут минимальными.

Также важно регулярно обновлять документацию по географии выбранного места и его подверженности внешним воздействиям. Это позволит отслеживать изменения и корректировать методику наблюдений при необходимости.

При замене приборов или изменении их размещения необходимо проводить сравнение данных новой системы с данными старой в течение длительного периода времени. Это поможет выявить возможные различия и скорректировать методику наблюдений.

Аналогичное правило действует и при смене места проведения наблюдений. Если проведение такой процедуры во всех местах наблюдения практически неосуществимо, критически важно проводить сравнения в отобранных репрезентативных локациях. Это позволит снизить погрешность в данных измерений, которая может возникнуть из-за изменений в технологии или вынужденного переноса места наблюдения.



## 1.2 Общие требования к метеорологическим станциям

Исторически так сложилось, что человек с древних времен совершал попытки вести наблюдения за погодными условиями.

В Древнем Китае, Индии, Египте, Греции и Риме люди уже стремились упорядочить свои наблюдения за погодой. В результате появились первые научные труды о климате и инструменты для метеорологических наблюдений.

В литературных источниках также отражены наблюдения за погодой. Например, в поэме Гомера «Одиссея» упоминаются различные ветры, которые влияли на путешествие главного героя. Эти описания помогли учёным понять, как двигались циклоны в древности.

Анализируя описания Гомера, учёные смогли построить карты погоды, которая наблюдалась более 3000 лет назад. Сравнивая эти карты с современными данными, можно увидеть, что принципы управления воздушной стихией не изменились со временем.

Не только древние поэты и мореплаватели обращали внимание на погоду, но и земледельцы, охотники и другие люди тоже наблюдали за ней. Со временем эти наблюдения превратились в сборник народных примет.

В Европе подобие сети метеонаблюдений впервые появилось в 1654 году. Сбор данных продолжался до 1667 года под руководством Академии дель Чименто во Флоренции.

В Российской империи регулярные наблюдения за погодой начали вводить только в конце XVII века, в отличие от Европы. Царь Алексей Михайлович стал первым, кто попытался ввести такие наблюдения. По его приказу из Европы были привезены астрономические инструменты и метеорологические приборы, включая барометр, который изобрёл Эванджелиста Торричелли, ученик Галилея [11].

В 1723 году Джеймс Джурин, секретарь Лондонского королевского общества, разработал инструкцию по наблюдению за погодой. В ней описывались стандартные измерения, необходимые приборы и методы

измерения температуры, атмосферного давления, скорости и направления ветра.

При участии Джеймса Джурина в Европе была создана вторая сеть метеостанций. Она работала до 1735 года.

Примерно в то же время в России появилась первая сеть метеостанций для наблюдения за погодой. Это было связано с проведением Великой Северной экспедиции.

Инструкцию для наблюдателей написал Даниил Бернулли. За десять лет, с 1733 по 1744 год, по всей Сибири было создано 24 метеостанции. Они были необходимы для обеспечения безопасности морских и сухопутных экспедиций.

Великая Северная экспедиция — это ряд географических экспедиций, предпринятых русскими моряками вдоль арктического побережья Сибири, к берегам Северной Америки и Японии во второй четверти XVIII века.

В 1724 году была образована первая в России метеорологическая станция, а с декабря 1725 года при Академии наук стали проводиться наблюдения при помощи барометра и термометра.

В 1724 году в России появилась первая метеорологическая станция, а с декабря 1725 года Академия наук начала проводить наблюдения с помощью барометра и термометра.

В 1802 году Жан-Батист Ламарк и Люк Говард независимо друг от друга разработали системы классификации облаков.

В 1877 году на реке Вятка появился первый водомерный пост. Начались инструментальные гидрологические наблюдения.

В 1853 году было создано первое государственное метеорологическое ведомство — метеослужба Великобритании. С этого момента все капитаны английских судов должны были следить за погодой и записывать данные в специальные таблицы. 14 ноября 1854 года над Чёрным морем разразился шторм, который потопил 60 кораблей англо-французского флота, действовавшего против России в период Крымской войны. После этого события был сделан вывод о необходимости создания централизованной

метеорологической сети наблюдений.

В 1873 году в Вене прошёл первый международный метеорологический конгресс, на котором установили единые сроки измерений и единый телеграфный код для передачи метеоданных.

Во время Первой мировой войны 1914 – 1918 годов обмен метеорологическими данными между странами был нарушен. Однако в Скандинавских странах, участвовавших в войне, была создана плотная сеть метеорологических станций, что позволило создавать более детальные карты погоды. Анализируя эти карты, учёные смогли выявить границы между воздушными массами и связать возникновение и развитие циклонов с этими границами.

Во время Великой Отечественной войны метеорологическая служба была преобразована в военизированную организацию. В 1943 году в Кирове был создан пункт вертикального зондирования атмосферы, и 13 июля 1943 года начались запуски радиозондов.

Несмотря на разрушительные последствия войны, в СССР продолжались активные исследования атмосферных процессов, начатые в 1930-х годах. Особенно активно развивались региональная синоптическая и авиационная метеорология.

Запуск первого искусственного спутника Земли в Советской России, 4 октября 1957 года, открыл новые уникальные возможности для получения разнообразной информации, включая метеорологические данные.

В 50-60е годы активно развивалась сеть пунктов метеорологических наблюдений не только в странах Европы, но и в России. В 1966 году вводятся единые восьмисрочные наблюдения за погодой (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 час). В 70-е годы - началось массовое развитие сети пунктов гидрологических наблюдений на крупных реках и озёрах.

В конце 1960-х годов в СССР и США были созданы метеорологические космические системы. Это позволило более точно анализировать погодные условия, особенно в районах с недостаточным количеством метеорологических

данных, а также оперативно обнаруживать опасные тропические циклоны.

С появлением метеорологических радиолокаторов учёные смогли более подробно изучить физические процессы, происходящие в атмосфере. Эти достижения помогли повысить точность краткосрочных прогнозов погоды.

В последнее время активизировались исследования общей циркуляции атмосферы, в том числе взаимодействия океана и атмосферы. Это направление имеет большое значение для улучшения качества долгосрочных прогнозов погоды. К сожалению, долгосрочные прогнозы всё ещё менее точны, чем краткосрочные, что объясняется сложностью задачи.

Наземная метеорологическая сеть в России развивалась до начала 1980-х годов, после чего начался её спад. С 1987 по 1989 год количество метеостанций уменьшилось на 15 %, а постов — на 20 %.

Во второй половине XX века системы метеорологических наблюдений качественно улучшились, что связано с внедрением автоматизированных систем измерения гидрометеорологических параметров и метеорологических спутников Земли [11].

Какие же требования предъявляются к метеорологическим станциям и метеорологическим измерениям?

Выше указано, наблюдения за погодными условиями во всем мире производятся по единой методике, практически одинаковыми приборами, что позволяет делать наиболее точный прогноз.

Для работы используются метеорологические станции (приложение 5). Метеорологическая станция — это учреждение, которое проводит регулярные наблюдения за состоянием атмосферы. Наблюдения включают измерения значений метеорологических элементов в установленные сроки и определение основных характеристик (начало, окончание и интенсивность) атмосферных явлений.

Метеостанция включает в себя метеорологическую площадку, где находится большинство измерительных приборов: психрометрическая будка с

термометрами и гигрометрами, инструменты для определения скорости и направления ветра, осадкомер, почвенные термометры и другие. Также есть служебное здание, в котором расположены барометры, регистрирующие элементы дистанционных устройств, переносные инструменты и происходит обработка полученных данных.

Наблюдения проводятся согласно стандартной программе в течение 10-минутного интервала каждые 3 или 6 часов, а иногда и каждый час. Собранные данные кодируются и передаются в цифровом формате по установленным адресам, таким как бюро погоды, авиационные метеостанции и другим подобным организациям.

Многие метеостанции, помимо стандартных измерений, проводят агрометеорологические наблюдения, определяют интенсивность солнечной радиации (прямой, рассеянной и суммарной), радиационный баланс, уровень испарения почвенной влаги и другие параметры. Метеостанции также могут быть установлены на судах, буйках в открытом море и в необитаемых районах суши в автоматическом режиме.

Информация, полученная от метеостанций, используется для создания прогнозов погоды, предупреждения о неблагоприятных погодных условиях для сельского хозяйства, изучения климата и его изменений, а также для предоставления обслуживаемым организациям актуальных сведений о погоде.

Таким образом, метеонаблюдения практически во всех странах производятся по единой методике, которая разработана и используется много лет, что позволяет производить более точные прогнозы погоды.

Как же производятся метеорологические измерения в различных странах, есть ли различия [8].

Метеорологические наблюдения включают в себя измерение различных метеорологических величин, таких как температура воздуха, влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, а также количество и высота облаков. Эти данные имеют важное значение для составления точных прогнозов погоды.

Кроме того, метеорологи регистрируют различные атмосферные явления, такие как грозы, метели, пыльные бури и туманы. Эти явления могут оказывать значительное влияние на повседневную жизнь людей и экономику, поэтому их тщательное наблюдение и анализ необходимы для своевременного предупреждения населения о возможных опасностях.

Метеорологические наблюдения являются важной частью работы метеорологов. Они позволяют получать точные данные о погоде, которые затем используются для составления прогнозов и предупреждений о неблагоприятных погодных условиях.

С целью стандартизации, сбора, анализа, обработки и глобального распространения гидрометеорологической информации Всемирная метеорологическая организация (ВМО) в 1963 году создала Всемирную службу погоды, одним из основных компонентов которой есть Глобальная система наблюдений, которая охватывает все технические средства для гидрометеорологических наблюдений на земле, на море, в воздухе и в космическом пространстве.

Морской флот и авиация являются основными потребителями метеорологической информации и прогнозов погоды. Эти данные играют ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности морских и воздушных перевозок [12].

Кроме того, данные о метеорологическом режиме широко используются при эксплуатации и проектировании различных сооружений, таких как здания, линии электропередач, аэродромы, железные дороги и другие объекты инфраструктуры.

Особенно важно учитывать погодные условия и климат в сельском хозяйстве. Производительность этой отрасли в значительной степени зависит от влажности воздуха и почвы, количества тепла, осадков и света. Неблагоприятные погодные условия могут привести к снижению урожайности и даже к гибели сельскохозяйственных культур.

### 1.3 Всемирная метеорологическая организация (ВМО) глобальная система обработки данных

Система метеорологических станций, ведущих наблюдения по единой программе и в установленные сроки, называется метеорологической сетью. Эти станции играют важную роль в изучении погоды, климата и решении различных практических и научных задач.

В большинстве стран основная государственная метеорологическая сеть является частью метеорологической службы. Кроме метеорологических станций, в государственную метеослужбу входят специализированные станции, например, аэрологические, актинометрические, агрометеорологические, а также станции на морских судах и другие [16].

На территории стран постсоветского пространства, сейчас функционирует порядка 4000 станций и около 7500 наблюдательных постов, что обеспечивает обширную и детальную информацию о погодных условиях и климате региона. На сегодняшний день, в каждой стране происходят разработки во внедрения в систему метеорологических наблюдений современных приборов и измерений, которые работают как самостоятельные метеорологические станции (автоматические) так и с участием метеорологов, у которых появляются новые приборы способные за короткий период времени собрать информацию и обработать ее.

Таким образом несмотря на то, что наблюдения аз текущей погодой зависят в основном от специалиста-наблюдателя, уже созданы приборы, которые не только рассматриваются как полезные вспомогательные средства для производящего наблюдения человека, но и заслуживают все большее доверие как самостоятельно работающее оборудование.

Например, информация о текущей погоде должна быть репрезентативной для аэродрома и его ближайших окрестностей.

Когда рассматривается вопрос об использовании приборов, системы наблюдений за текущей погодой рекомендуется размещать вдоль взлетно-

посадочных полос и, где это целесообразно и осуществимо, в зонах конечного этапа захода на посадку [15].

В Техническом регламенте (ВМО-№ 49), том I, часть I, приложение 3, 1.3, отмечается, что «наблюдатели должны располагаться на аэродроме с таким расчётом, чтобы, насколько это практически возможно, предоставлять данные, которые являются репрезентативными для района, где требуется проводить наблюдения».

Наблюдения за погодой вблизи аэродрома позволяют получить наиболее точную информацию о погодных условиях. Важно также использовать дополнительные источники данных, такие как наблюдения подразделений ОВД, персонала аэродромных служб и экипажей воздушных судов.

Международные соглашения, касающиеся явлений текущей погоды, за которыми следует проводить наблюдения и о которых следует затем сообщать прибывающим и вылетающим воздушным судам, приведены в Техническом регламенте (ВМО-№ 49), том I, часть 1, 4.6.4, и часть 1, приложение 3, 4.4 — «Текущая погода».

При этом основную, а может и главную роль, при получении метеорологических данных, играют требования к метеорологическим приборам, касающиеся следующих их характеристик:

- а) погрешность, в соответствии с установленным требованием для конкретной переменной;
- б) надежность и стабильность;
- в) удобство эксплуатации, калибровки и обслуживания;
- г) простота конструкции (в соответствии с требованиями);
- д) долговечность;
- е) приемлемая стоимость прибора, расходных материалов и запчастей.

Простота и прочность конструкции, удобство в эксплуатации и обслуживании приборов являются важными их характеристиками, поскольку большинство метеорологических приборов могут использоваться весьма продолжительное время и при этом находиться далеко от мест



ремонта. Прочность конструкции особенно желательна для тех приборов, которые полностью или частично находятся под воздействием погодных условий.

Обеспечение перечисленных характеристик приборов обычно позволяет уменьшить затраты на проведение качественных наблюдений и компенсировать таким образом первоначальные вложения средств [9].

Из-за глобального характера атмосферной циркуляции возникла необходимость в международной координации результатов наблюдений и обработки измерений — анализов и прогнозов погоды, составляемых метеорологическими центрами мира.

Эту координацию осуществляет Всемирная метеорологическая организация (ВМО), поддерживающая работу Всемирной службы погоды (ВСП), которая объединяет национальные метеорологические или гидрометеорологические службы.

ВМО имеет шесть региональных ассоциаций, координирующих деятельность организации в различных географических районах: Африке, Азии, Южной Америке, Северной и Центральной Америке, юго-западе Тихого океана и Европе.

ВМО выполняет основную практическую деятельность через 8–10 технических комиссий, занимающихся авиационной метеорологией, атмосферными науками, гидрологией, климатологией, морской метеорологией, основными системами, приборами и методами наблюдений, а также сельскохозяйственной метеорологией. Штаб-квартира ВМО находится в Женеве, Швейцария. Бюджет организации формируется из взносов её членов, пропорциональных размеру национального дохода каждой страны.

Несмотря на то, что метеорологические службы разных стран остаются национальными по структуре и задачам, они работают по международным стандартам в соответствии с рекомендациями ВМО. Они участвуют в реализации международных программ, таких как Всемирная климатическая программа, Всемирная программа применения знаний о климате, программы

«Метеорология и освоение океанов», «Сельскохозяйственная метеорология», «Гидрология и водные ресурсы» и другие.

Крупнейшей программой ВМО является «Всемирная служба погоды», основанная на трёх глобальных системах: наблюдений (ГСН), обработки данных (ГСОД) и телесвязи (ГСТ). В рамках этой программы функционируют три категории метеорологических центров: национальные (НМЦ), региональные (РМЦ) и мировые (ММЦ). В настоящее время успешно работают Центры приёма и обработки спутниковой информации.

По оценкам экспертов ВМО стихийные бедствия уносят на нашей планете 250000 человеческих жизней ежегодно, а размер экономического ущерба составляет 100 млрд. долларов.

Международный опыт показывает, что готовность государства к осуществлению превентивных мер - наиболее действенный способ снижения ущерба. Например, благодаря программе ВМО по тропическим циклонам число погибших от наводнения в Бангладеш уменьшилось и составило 300000 тысяч в 1971 году, 13000 в 1992 году и 200 в 1994 году. В большинстве стран каждый доллар, вложенный в метеорологическую и климатическую информацию, предотвращает убытки на 10 долларов.

Общий прогресс науки и техники, широкое использование искусственных спутников Земли и электронных вычислительных машин, постоянный мониторинг природной среды открывают новые возможности для развития мировой метеорологии, своевременного прогнозирования опасных явлений и предупреждения населения и экономических структур с целью снижения материального ущерба.

Для стран ВМО, используют единую систему измерений, используя в своей работе практически одинаковые приборы, однако имеются и различия, как в самих измерениях, так и в приборах измерения.

## 2 Анализ особенностей гидрометеорологических измерений за рубежом

### 2.1 Особенности метеорологических наблюдений и измерений в США

В данной главе рассмотрим особенности проведения гидрометеорологических наблюдений и измерений в некоторых странах, членах ВМО: США, Японии, Австралии, Китае и обобщенно Европе, изучим схожесть и установим различия в измерениях, на примерах работы метеорологических организаций.

В США прогнозирование погоды играет важную роль. Телевидение и радио сообщают о погоде и её прогнозе несколько раз в каждом выпуске новостей и каждые 10–15 минут соответственно. Почти в каждой газете есть карта прогноза погоды и другая информация о погодных условиях.

За сбор и обработку данных наблюдений об окружающей среде и предупреждение об особых явлениях погоды (ОЯП) в США отвечает государственная организация NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). В неё входит Национальная служба погоды, которая состоит из трёх метеорологических центров: Национальный метеорологический центр (Вашингтон Сити); Национальный центр по прогнозу сильных штормов (Канзас); Национальный центр по прогнозу тропических циклонов (Майами). Основная прогностическая работа ведётся в 50 штатных Weather Service Forecasts Office (WSFO), которые примерно соответствуют рангу бюро погоды. Для управления WSFO и наблюдательной сетью есть четыре региональных центра: центральный, западный, восточный и южный. Каждый WSFO отвечает за определённую территорию штата, которая разделена на 15 – 20 небольших районов, и составляет прогноз для каждого из них [9].

В каждом офисе прогнозов погоды (WSFO) установлено от 15 до 20 терминалов, ЭВМ, от 8 до 10 ПК, а также несколько факсимильных и копировальных машин и печатающих устройств. Один из терминалов позволяет в реальном времени просматривать данные радиозондирования любой станции США, определять различные индексы неустойчивости

атмосферы и, изменяя данные стратификации, получать прогностические параметры. Ручные расчёты практически не используются благодаря максимальной автоматизации процессов.

Прогнозы погоды составляются два раза в сутки на основе данных наблюдений в 0 и 12 часов по Гринвичу для более чем 200 пунктов США. Аналогичная стратегия применяется и для прогнозирования погоды для нужд авиации.

United Airlines, вторая по величине авиакомпания США, организовала сбор данных о ветре, температуре и болтанке воздушных судов с помощью спутника. Эти данные поступают с рейсовых самолётов как самой авиакомпании, так и других перевозчиков по всему миру. Информация передаётся на спутник автоматически каждые 7 минут, после чего каждый самолёт может принять её.

За последние 20 лет метеостанции Европы, США и Канады перешли на полностью автоматический режим работы. Это означает, что система автоматически собирает данные со всех датчиков в нужное время.

Метеорологам больше не нужно выходить на улицу и снимать показания с термометров, чтобы отслеживать изменения температуры, влажности, давления и других параметров. Вся информация отображается на экране компьютера. После сбора данные отправляются в виде телеграммы в центр гидрометеорологической службы в установленное время.

Одним из преимуществ таких метеостанций является их мобильность. Это позволяет легко выполнять полевые наблюдения (рис. 1).



Рисунок 1 АМКDavis нового поколения

Наиболее большее распространения в США получили метеостанции типа ASOS. Рассмотрим, как выглядит стандартная американская метеостанция ASOS.

Первая метеостанция ASOS была установлена в августе 191 года в Торека-Kansas. На сегодняшний день около 1000 таких метеостанций разбросаны по всей территории США, включая Аляску, Гавайи, острова в океане. В основном, они расположены в поле на территории аэропорта. Метеостанции являются полностью автоматическими, поэтому, в отличие от станций СНГ, где показания снимаются техниками-наблюдателями, они не передают вид облаков, не регистрируют гололедные явления, морозящие осадки, высоту снежного покрова [9].

Сеть метеостанций ASOS (Automated Surface Observing System) создана совместными усилиями Национальной метеослужбы США, Федерального управления авиацией и Министерства обороны.

Сеть собирает фактические данные для прогноза погоды и обеспечения полетов авиации, а также для различных метеорологических, гидрологических и климатологических исследований.

На сегодняшний день сеть метеостанций ASOS обладает самыми современными метеодатчиками, работающей круглосуточно и передавая данные ежеминутно.

ASOS передает информацию о следующих метеопараметрах:

- 1) состояние облачности и высота облаков;
- 2) видимость;
- 3) текущая погода, наличие атмосферных явлений, таких как дождь, снег и т.п.;
- 4) наличие явлений, ухудшающих видимость, таких как туман, дымка, мгла;
- 5) атмосферное давление;
- 6) температура и влажность воздуха;
- 7) направление и скорость ветра;

8) количество осадков;

9) значимые события: резкое изменение высоты облачности, видимости, направления ветра, порывы ветра, время начала и конца осадков, скачки атмосферного давления.

установлены следующие датчики:

- датчик температуры и влажности воздуха; - датчик количества осадков;
- лазерный измеритель высоты облаков;
- датчики видимости, направления и скорости ветра.

Метеостанция являются полностью автоматическими, поэтому, в отличие от станций СНГ, где показания снимаются техниками- наблюдателями, они не передают вид облаков, не регистрируют гололедные явления, морозящие осадки, высоту снежного покрова.

Кроме работы автоматических метеорологических станций, метеорологические измерения производятся военнослужащими.

В вооруженных силах (ВС) США широкое применение нашли гидрометеорологические автоматические станции серии MAWS (Multi-purpose Automatic Weather observation System) финской компании «Вайсала».

Они способны в реальном масштабе времени с высокой точностью производить оценку параметров состояния окружающей среды, а также передавать гидрометеорологическую информацию в необходимом потребителю объеме [9].

Станции серии MAWS (AN/TMQ-53) представляют собой модульные автоматические устройства, пригодные для работы, как в стационарном режиме, так и в составе мобильных систем. По оценкам американских специалистов, они отличаются высокими эксплуатационными характеристиками, компактностью исполнения, а также, что особенно важно, невысокой стоимостью. Станции могут эксплуатироваться в различных климатических зонах. Данные устройства, предназначенные для измерения гидрометеорологических характеристик, состоят из нескольких датчиков, блока обработки и передачи информации в центр сбора по коммутируемому каналу. С

помощью базового комплекта датчиков специалисты измеряют скорость и направление ветра, атмосферное давление, температуру и относительную влажность воздуха. Комплектация станций зависит, прежде всего, от характера решаемых задач.

В настоящее время в американских ВС эксплуатируются три типа станций данной серии. Станция MAWS100 (рис.2) представляет собой миниатюрную измерительную систему, совмещенную с простейшими устройствами связи. Обработка полученных данных производится потребителем.

Автоматическая метеорологическая станция MAWS 100 — это компактная система для гидрометеорологического мониторинга, когда не требуется большое количество датчиков.

В системе MAWS100 применяются те же испытанные на практике высокоточные регистраторы данных и ПО, что и в других системах Vaisala Hydro Met Systems.



Рисунок 2 - Автоматическая метеорологическая станция MAWS 100

Получение данных осуществляется при помощи прямого соединения с ПК СР через последовательное соединение или TCP/P, через PSTN-модем или при помощи беспроводной сотовой телеметрической связи.

Универсальный интерфейс датчиков, усовершенствованные статистические вычисления, широкомасштабная регистрация данных на карту памяти CompactFlash и различные варианты отчетности позволяют настраивать систему MAWS100 для соответствия различным сферам применения.

Станция служит для сбора точных и достоверных метеорологических данных с небольшого количества датчиков. Обычно её размещают в отдалённых и труднодоступных районах. MAWS 100 собирает информацию о:

- скорости и направлении ветра;
- атмосферном давлении;
- температуре и относительной влажности воздуха;
- количестве осадков.

Установка станции обеспечивается с помощью легкой треноги из алюминия.

Высокомобильная метеорологическая автоматическая станция MAWS201 предназначена для получения более широкого спектра данных, предварительной обработки результатов измерений, формирования сообщений и передачи их на средства отображения. Она используется для сбора и протоколирования (архивации) метеоданных на военных объектах, в частности на взлетно-посадочных полосах аэродромов, в оперативных и научно-исследовательских целях, а также при экологическом мониторинге.

Метеорологическое обеспечение - комплекс мероприятий по сбору, обработке и доведению до войск (сил флота) информации о гидрологических и метеорологических условиях в районах боевых действий с целью повысить эффективность использования войск (сил флота), применения оружия и техники. Вид оперативного (боевого) обеспечения. Осуществляется подразделениями гидрометеорологической службы.

Метеорологическая автоматическая станция MAWS201 состоит из нескольких датчиков: направления и скорости ветра, температуры и влажности воздуха, измерения атмосферного давления, высоты нижней границы облаков и метеорологической дальности видимости; а также грозопеленгатора и



осадкомера.

Датчики и блок обработки и передачи информации, в зависимости от комплектации станции, могут устанавливаться на стандартную метеорологическую мачту (10 м). Кроме того, в комплекте имеются: дополнительная мачта (6 м), штыри для крепления на грунте, верхние и нижние растяжки, компас.

Станция в автоматическом режиме обнаруживает и дает характеристику таким неблагоприятным для потребителя атмосферным явлениям, как мгла, морось, туман, дождь (смешанный), снег, град, метель, а также пыльные и песчаные бури. При этом осуществляется штормовое оповещение и предупреждение личного состава. Поскольку станция не обеспечивает диагностику всех интересующих потребителя атмосферных явлений, ее измерения дублируются и дополняются визуальными наблюдениями с последующей автоматизированной обработкой данных.

Наибольший объем характеристик измеряется и обрабатывается гидрометеорологической станцией MAWS301. Она представляет собой компактную систему датчиков скорости и направления ветра, дальности видимости, количества и типа осадков, температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, а также характеристик солнечного излучения. Кроме того, станция определяет ряд важных параметров при помощи гидрологических вертушек и доплеровских измерителей скорости течения, а также уровень и температуру водной поверхности, влажность почвы. Предусмотрена автоматическая сигнализация и отправка сообщений в центр сбора информации о превышении предельно допустимых концентраций токсичных химических элементов в воде, воздухе и почве [9].

Измерения проводятся ежечасно. Данные автоматически кодируются, архивируются и передаются в центры сбора информации, где в дальнейшем обрабатываются. Сеть постов управляет телеинформационная система, обеспечивая передачу данных с интервалом от 5 мин до 1 ч.

Автоматические станции семейства MAWS также обеспечивают сбор и

распространение данных в рамках всемирной службы прогноза погоды, используя при этом различные виды связи - наземные арендованные каналы, радиотелефоны, ИСЗ и ресурсы сети Интернет.

В результате испытаний в полевых условиях эти станции показали себя как надежные, легкие в эксплуатации устройства с удобным интерфейсом. Они осуществляют достаточно точные и качественные измерения, ранее присущие только более сложным и громоздким системам. Станции MAWS отличаются низким энергопотреблением. Для их автономной работы, при обычном наборе датчиков, достаточно стандартной солнечной панели мощностью 2,2 Вт и аккумуляторной батареи напряжением 6 В (емкостью не менее 1,3 А/ч). В случае увеличения количества датчиков устанавливаются вторая солнечная панель и дополнительные батареи.

В целом совершенствование гидрометеорологического обеспечения американских ВС на современном этапе во многом характеризуется продолжающимся внедрением автоматических станций серии MAWS.

Метеослужба Вооружённых сил США использует для наблюдений за атмосферой свыше 30 наземных и морских станций, около 100 метеорологических радиолокационных станций, станции и пункты ракетного зондирования атмосферы, несколько наземных оптических и радиотелескопов, около 50 самолётов разведки погоды и два метеорологических космических аппарата.

Военные метеорологи сотрудничают с НАСА и используют космические спутники и беспилотные летательные аппараты. Также они применяют средства Всемирной метеорологической организации, включая тысячи наземных метеорологических, синоптических, аэрологических и морских станций, сотни буёв разного типа, более 3000 самолётов и 10 метеорологических космических аппаратов.

Метеорологическая служба ВВС США организационно входит в состав командования воздушных перебросок. Её основные органы: штаб на авиабазе Скотт в штате Иллинойс, Глобальный метеоцентр и Климатический центр,

прогностические части и подразделения командований, войсковые метеорологические подразделения и подразделения разведки погоды.

С 2008 года метеослужба использует тактическую автоматизированную систему распределения метеоданных. Благодаря ей фактические и прогностические значения метеорологических элементов могут быть представлены потребителю в любой точке земного шара в течение 2–10 минут.

Информация о текущей погоде и результатах анализов и прогнозов поступает в Национальный банк данных наблюдений и прогнозов. Данные банка доступны частным метеорологическим компаниям, университетам, радио и телевидению.

На телевидении есть специальный круглосуточный канал о погоде. В его штате 50 синоптиков, а всего на ТВ и радио работают около 1000 синоптиков. Зритель становится соучастником погодного шоу благодаря последним достижениям в области видеографики.

Синоптики сообщают долгосрочные прогнозы погоды в середине и конце месяца, в том числе для Москвы, Санкт-Петербурга и Киева. Долгосрочные прогнозы публикуются в газетах и сельскохозяйственных журналах.

В 2023 году компания Google Deepmind представила свою новую модель прогнозирования погоды под названием GraphCast. Эта модель уникальна тем, что способна предсказывать погоду на 10 дней вперёд без необходимости понимать «физику» атмосферных процессов [14].

Таблица 1 – Рейтинг Глобальных прогностических моделей

Место	Модель	Страна	Точность, %	Разница с 2021 г.	Отставание от ECMWF, лет
1	ECMWF	Европа	90.53	0.60%	0
2	UKMO	UK	89.02	0.01%	6
3	BOM	Австралия	88.07	-0.08%	7
4	CMC	Канада	87.45	0.13%	9
5	ICON	Германия	87.30	0.40%	9
6	GFS	США	87.19	0.49%	10
7	JMA	Япония	87.05	0.38%	10
8	KMA	Корея	86.49	0.10%	10
9	CMA	Китай	81.43	Нет данных	17
10	ПЛАН	Россия	79.17	-0.16%	19
Источник: wmo/cdnv.ecmwf.int				0.21%	

В последние годы наблюдается значительный прогресс в области прогнозирования погоды. Новые технологии, такие как машинное обучение и нейронные сети, позволяют значительно повысить точность прогнозов.

Например, модели FourCastNet и Pangu-Weather демонстрируют результаты, сопоставимые с гидродинамическими прогнозами IFS от ECMWF. Это говорит о том, что новые технологии могут быть столь же эффективны, как и традиционные методы прогнозирования.

Кроме того, модели GraphCast и AIFS смогли существенно превзойти лучшую модель в мире. Это свидетельствует о том, что новые технологии имеют большой потенциал для улучшения качества прогнозов.

Классическая детерминированная версия ECMWF прогнозирует температуру на уровне 850 hPa (1500 метров) на 10 суток с показателем 36–37 %. Машинное же обучение повышает точность прогнозирования до 45 %, и это лишь ограниченная тестовая версия системы на 2018 год. Рост качества происходит на всех сроках заблаговременности (рисунок 4).

Барическое поле на 8–10 суток новая нейросетевая модель прогнозирует на 5–8 % точнее, чем обычная версия программ ECMWF. Это говорит о том, что новые технологии могут значительно улучшить качество прогнозов погоды. Таким образом, можно сделать вывод, что новые технологии имеют большой потенциал для улучшения качества прогнозов погоды. Они могут стать основой для создания более точных и надёжных систем прогнозирования.

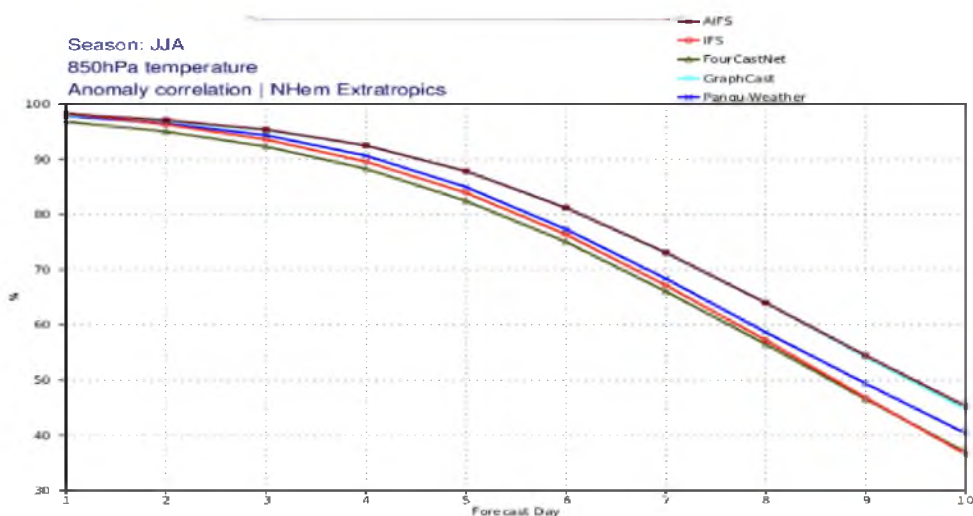


Рисунок 4 – Сравнение эффективности прогнозирования ИИ

Из публичных данных видно, что AIFS и GraphCast показывают схожие результаты.

AIFS — это нейросетевая модель, которая появилась позже, чем модель от Google. Разработчики AIFS утверждают, что изучили все остальные модели и выбрали ту же архитектуру, что и Google [14].

Разработчики системы от Google утверждают, что GraphCast обладает более высокими навыками прогнозирования погоды, чем HRES (ECMWF). GraphCast имеет более высокие оценки мастерства на всех временных интервалах, причём улучшение мастерства составляет примерно 7–14%. GraphCast превзошёл HRES по 90,3 % из 1380 целей, причём значительно превзошёл HRES по 89,9 % целей. При исключении уровня 50 гПа GraphCast значительно превосходит HRES по 96,9 % из оставшихся 1280 целей. При исключении уровней 50 и 100 гПа GraphCast значительно превосходит HRES по 99,7 % из 1180 оставшихся целей.

Сравним производительность GraphCast с лучшей конкурирующей ML-моделью погоды Pangu-Weather. GraphCast от Google превзошёл её на 99,2 % из 252 представленных задач (рисунок 5).

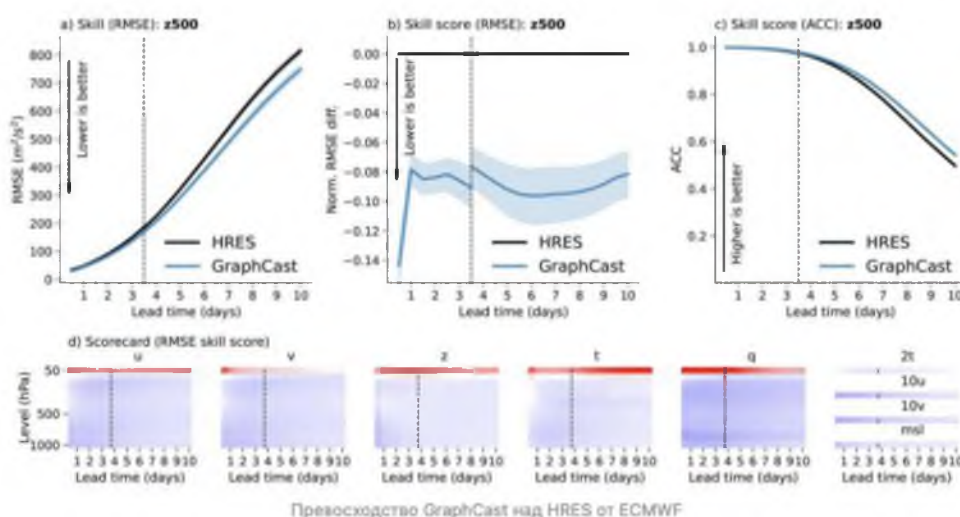


Рисунок 5 — Сравнение производительности различных моделей.

GraphCast можно переобучать на свежих данных или подключить к локальной сети метеостанций для постоянного самообучения и

самосовершенствования. Это позволяет отражать погодные закономерности, изменяющиеся во времени, такие как последствия изменения климата и длительные климатические колебания.

Google и NOAA обучили четыре варианта GraphCast с нуля на данных, которые начинались в 1979 году, а заканчивались в 2017, 2018, 2019 и 2020 годах соответственно.

При сравнении показателей этих моделей с HRES на тестовых данных 2021 года выяснилось, что производительность GraphCast, обученного до 2018 года, остаётся конкурентоспособной по сравнению с HRES в 2021 году. Однако обучение до 2021 года ещё больше улучшает показатели модели [14].

Способность обучаться на основе растущих архивов прошлых метеорологических данных является ключевым преимуществом моделей на базе искусственного интеллекта. Это потенциально может повысить точность прогноза за счёт улавливания закономерностей и масштабов в данных, которые нелегко представить в явных уравнениях.

Все центры прогнозирования буквально борются за десятые доли процента, стремясь повысить точность прогнозов сверх статистической погрешности. Например, в ECMWF точность прогноза высоты изобарической поверхности 500 hPa в летний период колеблется от 35,3 % до 46,7 %. За 16 лет (с 2007 по 2022 год) средний показатель составил 41,3 %. У GraphCast и AIFS в 2022 году точность составила 51 %, что сразу на 10 % выше, чем средний показатель за 16 лет.

Нейросеть, обученная на цифровых архивах погоды, смогла выполнить работу, на которую людям потребовались бы десятки лет, в рекордно короткие сроки. В приложении 6 будет приведен график сравнения точности прогноза нейросети и классической используемой модели.

Нынешний этап — создание долгосрочных нейросетевых моделей, которые смогут предсказывать общую циркуляцию атмосферы на несколько месяцев вперёд. Эти модели должны уметь самостоятельно обучаться и функционировать без участия человека.

Все существующие долгосрочные модели опираются на принципы гидродинамики и отличаются высокой ресурсоёмкостью. Они требуют больше вычислительных мощностей, чем ансамблевые модели.

Есть вероятность, что в будущем появятся мультимодельные долгосрочные нейросетевые прогнозы, которые позволят снизить уровень неопределённости по сравнению с традиционными гидродинамическими моделями [14].

## 2.2 Особенности метеорологических наблюдений и измерений в Европе

В современной Западной Европе наряду с классическими метеорологическими станциями, которые напоминают станции системы Росгидромета России, большое развитие получили метеодроны.

Существующие модели погоды изо всех сил пытаются точно предсказать местные погодные явления, такие как туман, сильный ветер и грозы. Это связано, прежде всего, с ограниченным количеством данных, доступных в самых нижних слоях атмосферы, информация о температуре, влажности и ветре в нижних слоях атмосферы очень скудна. По этой причине метеослужба западной Европы сосредоточилась на том, чтобы сократить этот разрыв данных путем сбора данных в этих слоях с помощью метеодронов, чтобы улучшить прогнозирование погоды и произвести революцию в мире данных о погоде.

Метеодроны - мобильные метеостанции будущего (рисунок 6). Важным шагом на пути к более точным 24-часовым прогнозам являются собственные разработанные, разработанные, изготовленные и запатентованные Метеодроны. Они собирают данные внутри планетарного пограничного слоя (примерно 3 км над землей). Это позволяет проводить высокоточные измерения температуры, влажности и скорости ветра в пограничном слое планеты.

Благодаря одобрению Федерального ведомства гражданской авиации стала первой швейцарской компанией, которая получила разрешение на одновременный полет нескольких мини БЛА из пределы прямой видимости.

Это означает, что Метеодроны также могут летать в облаках и тумане. В 2017 году это разрешение было продлено, чтобы разрешить использование Метеодронов за пределами прямой видимости в течение дня при определенных условиях. Это разрешение относится к полетам на высоте до 1,5 км над уровнем земли.



Рисунок 6 - Метеорологический дрон

С момента запуска полетов беспилотников в 2016 году каждый Метеодрон должен был управляться пилотом. Важным шагом на пути к общенациональным беспилотным операциям стало развитие MeteoBase. MeteoBase позволяет удаленно поддерживать до 10 различных систем дронов одновременно. Это «дом» беспилотника, из которого он взлетает, где он приземляется и заряжает свою батарею. Впервые пилот может управлять несколькими самолетами, летящими одновременно. В 2017 году был разработан и протестирован первый прототип MeteoBase в реальных условиях. В будущем данные о погоде можно будет собирать более широко, поскольку пилоты не требуются для каждого воздушного судна [13].

Производятся такие наблюдения с помощью специальных беспилотников, которые запускаются в небо. На высоте они активируют



спецприборы. Но на какую высоту их запускают? 10-25км от земли. Кстати рекордная высота полёта зонда (по сей день применяемого в более бедных и отсталых странах восточной Европы и Африки) составляет 53 км, а дронов нового поколения - 65 км.

Фирма Vaisala производит в настоящее время более 84 различных приборов, 7 из которых применяются и в России, хоть уже и весьма устаревшие модели.

TacMe самый полный метеорологический комплекс, созданный для мобильных станций, включающий в себя около 6 необходимых датчиков. Система тактического метеорологического наблюдения VaisalaTacMet (приложение 2) - это компактная метеостанция, которая может быть развернута в полевых условиях для различных полевых операций. Предлагая широкие возможности датчиков, портативная система. Более того, это коммерческий продукт (COTS), который включает в себя эффективную встроенную диагностику (BIT). MAWS201 доступен в двух версиях: базовая система измеряет метеорологические параметры, а усовершенствованная система включает авиационную поддержку.

Компания так же производит метеорологические будки (HUMICAP), для стран не отказавшихся от их использования (России, Украины, Черногории, Белоруссии, Грузии, Армении, Австралии, Латвии, Литвы, Эстонии, Абхазии, Болгарии, Казахстана, Монголии).

HUMICAP - это датчик типа «включай и работай», который имеет превосходную стабильность и хорошо функционирует даже в суровых условиях. Будка обеспечивает надежное измерение влажности и температуры, предназначена специально для использования в экстремальных условиях.

Но в ассортименте есть и множество других, автоматических, станций. Как пример можно рассмотреть AWS310 и RWS200. Автоматическая метеостанция AWS310 - комплексное решение для связи и мониторинга данных, включая датчик, электронику, мачту и источник питания - все, что вам

нужно, чтобы начать собирать точные и надежные измерения погоды.

Погодно-дорожная метеостанция RWS200 имеет интеллектуальный дизайн, сложные алгоритмы и интеллектуальное управление питанием, потому что надежность - вот что важно. Разверните только то, что вам нужно для выполнения работы, и все это без ущерба для точности.

В Европе так же используются нейросетевые модели используемые для прогнозирования погоды, схожие по своему функционалу с американской системой от Google. Рассмотрим некоторые из этих систем:

FourCastNet v2-small — это новая версия системы глубокого обучения, созданная компанией Nvidia совместно с её сотрудниками. В этой модели используются сферические нейронные операторы Фурье для учёта пространственных зависимостей. Это уменьшенная версия, которая может поместиться в один накопитель Nvidia A100 объёмом 40 ГБ для выполнения вычислений.

Модель была обучена с использованием данных ERA5 для минимизации среднеквадратичной ошибки прогноза и работает с разрешением 0,25°. GraphCast — это система на базе глубокого обучения, созданная Google DeepMind. Её архитектура основана на графовых нейронных сетях со структурой кодер-процессор-декодер и многосеточным представлением. Система была обучена на данных реанализа ERA5 с разрешением 0,25° и оптимизирована для минимизации среднеквадратичной ошибки прогноза на данных ECMWF HRES.

Pangu-Weather — это система на базе глубокого обучения, разработанная компанией Huawei. Она использует архитектуру 3D-трансформера для учёта пространственных зависимостей и состоит из нескольких моделей, позволяющих делать прогнозы на разных временных интервалах (например, 24 часа или 6 часов). Система была обучена на данных ERA5 для минимизации среднеквадратичной ошибки прогноза для каждой модели и работает с разрешением 0,25°. AIFS — это система на базе глубокого обучения, разработанная в Европейском центре среднесрочных прогнозов погоды

(ECMWF). Она также использует графовые нейронные сети. Обучение системы проходило на данных реанализа ERA5. AIFS имеет 13 уровней давления, работает с разрешением около 1 градуса и позволяет прогнозировать ветер, температуру, влажность и геопотенциал. На поверхности AIFS делает прогнозы для температуры на высоте 2 метра, ветра на высоте 10 метров, приземного давления и так далее. Система была обучена минимизировать среднюю квадратичную ошибку.

## 2.2 Особенности метеорологических наблюдений и измерений в Австралии

В Австралии имеется Бюро метеорологии и Мировой метеорологический центр в Мельбурне, региональный метеорологический центр в Сиднее, авиационная метеорологическая станция в аэропорту Сиднея, доплеровская радарная станция и гидрологическая станция в районе Сиднея.

Бюро метеорологии входит в состав министерства окружающей среды Австралии. В каждом штате имеется региональный центр (всего 7.) Региональные центры являются оперативными подразделениями Бюро и не имеют хозяйственной самостоятельности.

Общая численность Бюро метеорологии составляет 1385 человек. Метеорологическая служба содержится преимущественно за счет государственного бюджета, договорная деятельность ведется коммерческим отделом при Бюро в Мельбурне. Все договора заключаются централизованно по всей территории [17].

Работа по платному СГМО потребителей не является профилирующей, хотя в последнее время это направление усиливается.

В последние годы наблюдается резкое увеличение объема предоставляемых услуг через Интернет. Количество обращений на WEB-сайт

Бюро достигает до 1 млрд. в месяц (скорость на канале 100 мб/сек.). Обслуживание авиации и других отраслей экономики осуществляется

не на коммерческой основе, все расходы покрываются бюджетом. Деятельность метеорологической службы базируется на одном из основных законов Австралии-Законе об общественном благе. Отмечается повышенный интерес общества и соответственно формируется запрос к метеорологической службе по глобальному изменению климата и росту количества засух, пожаров, наводнений, торнадо и других опасных явлений. По данным Бюро метеорологии средняя температура на территории Австралии повышается. Тенденция в изменении количества осадков выражена менее ярко, однако в целом количество осадков уменьшается и возрастает продолжительность засушливых периодов.

Деятельность Бюро метеорологии осуществляется в соответствии с Законом о метеорологической службе от 1906г. с небольшими поправками, внесенными в 1957 и в 1970гг.

Деятельность в области метеорологии не лицензируется. Оценка качества предоставляемых услуг метеорологической службой осуществляется гражданскими институтами - прессой, обществом, судом.

Рассматривая организационную структуру Бюро метеорологии, следует отметить соответствие структуры службы решению поставленных обществом задач по предоставлению услуг населению и отраслям экономики. Органы управления службы централизованы, создана понятная вертикаль управления оперативными подразделениями. Служба содержится в основном за счет бюджета.

Вместе с тем в силу ограниченности бюджета и расширения круга решаемых нестандартных задач в области СГМО отраслей экономики, отмечается расширение сектора платных услуг и развития коммерческой деятельности через специальные подразделения службы (аналог Метеоагентства Росгидромета).

Большое внимание метеорологической службой Австралии уделяется совершенствованию системы оповещения населения угрозе возникновения ОЯ. Система предупреждения об опасных явлениях (warning-services) предоставляет

информацию о возможных пожарах, тропических циклонах, сильных штормах, резких изменениях погоды, наводнениях и других событиях, которые могут вызвать чрезвычайные ситуации.

Эти данные передаются через административные органы управления штатов и МЧС. Система также предупреждает о явлениях, которые могут нанести ущерб сельскому хозяйству, таких как заморозки и распространение заболеваний животных из-за неблагоприятных погодных условий. Кроме того, система предупреждает о возможности возникновения цунами и других опасных природных явлений.

Особое внимание уделяется прогнозированию опасных событий, которые могут привести к чрезвычайным ситуациям, а также оценке ущерба, который они могут нанести. Были приняты конкретные меры по совершенствованию системы предупреждений об ОЯ после чрезвычайной ситуации в 1981г. в Сиднее (цунами) с большим количеством человеческих жертв [21].

Площадь Австралии составляет примерно одну седьмую часть территории России. 80% населения проживает на 1% территории страны. Основная часть населения сконцентрирована на южном и восточном побережье, где расположены наиболее крупные города: Мельбурн, Сидней, Канберра, Перт, Аделаида, Брисбен и др. Именно в этой части страны функционирует наиболее плотная наземная наблюдательная сеть и обеспечивается сбор максимального количества информации, необходимой для обеспечения системы предупреждений об ОЯ.

Имеется вся необходимая нормативная база по прогнозу опасных явлений и чрезвычайных ситуаций, связанных с неблагоприятными погодными условиями, оформленная соответствующими законодательными актами. Определены все необходимые процедуры, регламенты, отчетность, критерии, порядок подготовки консультаций и предупреждений населения (по согласованию с органами МЧС).

К опасным явлениям относятся гроза, град, наводнения, торнадо, шквалистые усиления ветра, погодные условия, приводящие к лесным пожарам

(критерий сухости почвы). Ежегодно на территории Австралии отмечаются большое число торнадо, выпадения града (отмечались случаи, когда размер градин достигал 12 см), сильных осадков (800мм за48часов,600мм аз 6 часов), шквалистых усиления ветра (230 км/час). Большая часть опасных явлений отмечается на расстоянии 100км от крупных городов на южном и восточном побережье.

Бюро метеорологии тесно сотрудничает с другими ведомствами по наблюдениям за ОЯ и доведения информации об ОЯ до потребителей.

Проводится обучение сотрудников МЧС и других служб по этим вопросам. Все услуги по прогнозу и предупреждениям об угрозе возникновения ОЯ клиент ориентированы.

На всю страну распространен один и тот же подход к прогнозированию и предупреждениям об ОЯ, который заключается в преемственности и непрерывности при прогнозировании.

Все штормовые предупреждения в течении 10 минут размещаются на WEB-сайте интернет-ресурсов, а также передается в СМИ (радио). Вся работа осуществляется во взаимодействии с МЧС. Интернет становится одним из основных источников информации о возникновении ОЯ. Вся работа по предупреждениям об ОЯ, снижению последствий от стихийных бедствий, координируется специальными группами в каждом штате (аналог МЧС в субъектах РФ) [17].

Оповещения об угрозе возникновения ОЯ составляются непосредственно в Бюро (Мельбурн) и доводятся до органов управления штатов централизованно. Широко используются для информации об ОЯ SMS сообщения через компании связи. Ответственность за прогноз и доведение информации по всем ОЯ несет Бюро, за исключением информации о наводнениях.

Информация о наводнениях доводится через администрации штатов. Бюро на безвозмездной основе также передает информацию частным компаниям, на основании заключенных соглашений, которые затем

обслуживают население информацией о погоде и предупреждениями об ОЯ.

Для доставки информации используются различные способы - факсимильная связь, Интернет, СМИ, телефонная запись (голос), текст.

В Бюро (Мельбурн) и региональных центрах имеются специально оборудованные помещения, где установлены видеорекамеры и большие экраны для записи выступлений синоптиков с информацией о текущей погоде, прогнозу. Этот опыт взаимодействия со СМИ может быть использован и в организациях Росгидромета [19].

При ознакомлении с порядком передачи информации об ОЯ было обращено внимание на отсутствие схем передачи с подробным перечнем адресатов получения информации, порядка взаимодействия служб при передаче информации (по аналогии с системой принятой в Росгидромете). Хотя, как отмечалось выше, общая координация деятельности при возникновении ОЯ осуществляется специальными органами в штатах.

При подготовке оповещений об ОЯ не указываются градации явлений. Информация об ОЯ направляется зачастую в виде SMS сообщений.

В том случае, если частная компания планирует заниматься деятельностью в области метеорологии, она должна доказать свою состоятельность в суде (так называемое прецедентное право). Если же компания начинает заниматься деятельностью в области метеорологии без заключения соглашения с Бюро, на нее подается исковое заявление в суд и деятельность ее прекращается.

По всей территории Австралии имеется порядка 12 компаний, которые занимаются предоставлением услуг в области метеорологии. Существуют консалтинговые группы, которые оказывают услуги в области метеорологии, но они не занимаются прогнозированием.

Справки о фактической погоде доставляются потребителям по запросу в основном по электронной почте. При обращении страховых компаний, судов данные предоставляются на официальных бланках с использованием факсимильных аппаратов и по почтовой связи. В случае, если потребителя

неустраивает информация с сайта Бюро, то готовятся платные справки, стоимость которых определяется по затратам на их подготовку и доставку. Если же требуется большой объем специализированной информации, то заключаются договора через коммерческий отдел.

Для сбора метеорологической информации с территории Австралии, а также информации о возникновении ОЯ широко используются услуги волонтеров (добровольные наблюдатели), услуги которых не оплачиваются (расходы по передаче данных компенсируются) и услуги кооперативных клиентов (труд их оплачивается, при проведении наблюдений соблюдаются стандарты ВМО).

Специалисты Бюро за неоправдавшийся прогноз ОЯ, что привело к значительному ущербу, могут быть отстранены от работы и направлены на переобучение. Более строгих мер, как правило, не принимается.

Существует институт независимых экспертов, которые оценивают внутренние нормативные документы Бюро на высоком научном уровне.

Вышестоящие органы (МПП), как правило, не вмешиваются в деятельность Бюро, деятельность которого определяется законодательством. Бюро функционирует как самостоятельное исполнительное агентство.

Бюро метеорологии Австралии создана достаточно эффективная система прогноза и предупреждения об опасных явлениях погоды. Бюро работает в тесном взаимодействии с органами МЧС, администрациями штатов. Широко привлекается информация об ОЯ не только от сетевых подразделений Бюро, но и от волонтеров, кооперативных клиентов. Заслуживает внимания разнообразие способов доставки информации. Отмечен высокий уровень общественного интереса к деятельности службы, работе со СМИ, оценке работы путем экспертных опросов населения. Представляет интерес организация доступа частных компаний на рынок метеорологических услуг. Вместе с тем следует отметить, что действующая в системе Росгидромета аналогичная система в целом также соответствует решению задачи по прогнозу и предупреждению населения об ОЯ. Проводимая в настоящее время работа по проекту



технической модернизации службы позволит улучшить этот важнейшее направление деятельности Росгидромета.

Наблюдательная сеть Бюро метеорологии Австралии состоит из: 64 радаров (из них 2 доплеровских радара, которые установлены в Аделаиде и Брисбенс), 83 аэрологических станций (12 производят радиозондирование в автоматическом режиме), спутниковых станций приема космической информации (установлены в региональных центрах), 570 автоматических станций, 6700 полевых станций (постов) по измерению осадков. Метеорологическая информация поступает также от волонтеров и кооперативных клиентов. Действует сеть наблюдений за уровнем моря, глубоководных радиобуев, входящих в систему предупреждений о цунами. Наземная сеть в основном сосредоточена по побережью Австралии и, в особенности, в густонаселенных районах вблизи крупных городов на южном и восточном побережье материка.

Длина волны радара от 5 до 10 см. С помощью радаров обеспечивается обзор пространства и определения опасных явлений, связанных с облачностью (грозовые, ливневые очаги, зоны интенсивных осадков, града ит.д.). Данные, полученные с помощью радаров, используются в основном как графическое изображение.

Вычислительные методы для определения количества осадков не применяются. По данным сети радаров строится стыкованная (композитная) карта по всей территории.

Для получения космической информации используются данные, получаемые со спутников «ТЕРРА», японских спутников, одного австралийского спутника. Данные используются для получения различной природ ресурсной информации. Имеется специальная сеть слежения аз грозами (грозопеленгаторы).

Штат обслуживаемых метеорологических станций в зависимости от объема работ составляет от 1 до 5 человек. Зондирование производится от 1 до 4 раз в сутки. В связи с тем, что наземная сеть в значительной степени

автоматизирована, количество персонала минимальное.

Например, в Сиднее (аэропорт) на АМСГ (группа наблюдений) работает один сотрудник, который обеспечивает весь комплекс наблюдений, работу приборов и проводит запуск радиозондов и шар - пилотов. Продолжительность смены 12 часов. Количество работников на аэрологических станциях сокращается с 2-3 до одного человека. Сеть радиозондирования оснащена аэрологическими комплексами производства фирмы «Вайсала - DIGICORA» (обслуживаемые и автоматические системы зондирования).

Метрологическое обеспечение осуществляется инспекторами-наблюдателями. Автоматические метеостанции поверяются один раз в 6 месяцев, автоматические измерители осадков 1 раз в 5 лет. Считаю, что опыт эксплуатации автоматических станций, в Австралии может быть использован при установке и эксплуатации аналогичных станций в системе Росгидромета при реализации проекта технической модернизации, что позволит существенно сократить штатную численность на наземной сети.

Для изучения гидрологического режима в Австралии создана специальная сеть наблюдений за паводками и наводнениями. В состав сети входят две тысячи пунктов наблюдений за осадками и две тысячи расходомеров. Вся информация собирается и анализируется на региональном уровне. На сети применяется осадкомер с качающимся сборником осадков (ведром).

Для измерения уровня воды применяются в основном установки, основанные на пузырьковом методе измерения уровня. Наряду с ними используются и привычные нам поплавковые уровнемеры. Передача информации с постов производится по радиоканалам.

Измерения расходов воды осуществляется не метеослужбой, а другим ведомством.

Основными проблемами в содержании наземной сети является постепенное сокращение бюджетного финансирования, увеличение износа оборудования. Эффективно проводимая в последние годы работа по

сокращению трудовых и материальных затрат иногда входит в противоречие с задачами по получению метеорологической информации необходимой полноты и степени качества, позволяющей на необходимом уровне изучать климат и обеспечивать население информацией, в Австралии разработана программа модернизации службы. Эта программа составлена с учетом ряда внешних факторов, в том числе с учетом глобального изменения климата, роста количества ОЯ и стихийных бедствий, связанных с погодными условиями.

Принимались во внимание такие факторы, как глобальное потепление, уменьшение объема водохранилищ, увеличения рисков для населения в связи с переселением из крупных городов и центральной части материка на побережье.

Основная задача плана - развитие работы по предоставлению услуг населению. Этот план отвечает национальной стратегии Австралии - иметь достойную и безопасную жизнь в стране с устойчивой экономикой.

В области прогнозирования погоды планируется переход на Британские математические модели. Предусмотрен переход к графическому способу доставки прогноза (американская модель).

Состояние наземной наблюдательной сети Австралии заслуживает самой высокой оценки. Следует отметить рациональность ее построения, высокую технологичность, экономичность содержания. Большая часть метеорологических станций работает в автоматическом режиме, количество персонала на обслуживаемой сети ограничено.

Построение сети также отвечает задачам не только изучения климата, но и оперативному обеспечению региональных центров и населения информацией для прогнозирования ОЯ. Заслуживает внимания подход к составлению плана развития службы. Подход к вопросам содержания и развития сети может быть использован и в системе Росгидромета.

Основная прогностическая продукция поступает из Бюро (Мельбурн). Из Мельбурна также направляются прогнозы ОЯ. Полученная информация интерпретируется в центре и доводится до потребителей.

Сеть станций, закрепленных за центром, включает 1400 уровней и

осадкомерных постов, 10 обслуживаемых станций, более 10 АМС.

Количество обслуживаемых станций неуклонно снижается. За последние 16 лет, в автоматизации наземной сети достигнут существенный прогресс. В перспективе в Австралии планируется сокращение наземной сети радиозондирования и более широкое применение для изучения вертикального строения атмосферы спутниковых систем, профилометров, наблюдений с самолетов.

Для передачи информации используются каналы телефонной связи, сотовая связь, радиосвязь, спутниковые системы связи. Информация передается в пакетном режиме, внедрена IP-телефония, с присвоением каждому пункту наблюдений IP адреса.

### 2.3 Особенности метеорологических наблюдений и измерений в Китае и Японии

В Китае создали уникальную систему комплексных метеорологических наблюдений, которая по масштабу не имеет аналогов в мире.

Центральный офис Китайского метеорологического управления (КМУ) находится в Пекине.

Метеорологическая служба является в настоящее время одной из наиболее развитых национальных метеослужб в азиатском регионе. Китай является членом Всемирной метеорологической организации и активно участвует в деятельности различных международных организаций.

Заклучены соглашения со 140 странами о сотрудничестве в области гидрометеорологии, в том числе и с Россией.

Метеорологическое управление Китая играет ключевую роль в работе правительства страны, участвуя в разработке и принятии решений, связанных с предупреждением об опасных метеорологических явлениях и ликвидацией их последствий. Управление подчиняется непосредственно Госсовету КНР. В структуру управления входят 31 провинциальное бюро, 318 метеобюро в

префектурах и 2456 метеорологических станций. Штат насчитывает 53 137 сотрудников, при этом более 62 % из них имеют высшее специальное образование.

Управление финансируется на достаточном уровне. С 1987 по 2007 год бюджет вырос более чем в 10 раз — с 500 тысяч до 6 миллионов юаней. Ежегодно он увеличивается на 15 %. В настоящее время объём финансирования метеорологического управления КНР составляет 1 % ВВП.

Единая система наблюдений аз атмосферой, созданная в Китае, состоит из наземной, атмосферной и космической подсистем, которые осуществляют мониторинг практически всех погодных элементов. Единая система включает в себя распределенную, с учетом географических особенностей, сеть наблюдательных пунктов [21].

Китайское метеорологическое управление объединяет в себе службы прогнозирования погоды, климатических прогнозов, активных воздействий, мониторинга и предупреждения о засухах и наводнениях, защиты от гроз и атмосферного электричества, агрометеорологии и природоохранной метеорологии, управления климатическими ресурсами и другие. Они обслуживают самые разные отрасли экономики и ведомств, в том числе: промышленное производство, сельское хозяйство, рыбное хозяйство, торговлю, энергетику, транспорт, строительство, водоснабжение, производство, страхование, пожарную службу и так далее.

За последние годы, метеорологическая служба обширно использует научно-технический прогресс: мониторинг химического состава атмосферного воздуха, космическую метеорологию, наблюдения и прогнозирования пыльных и песчаных бурь, проектирование и испытание устройств. С целью обеспечения быстрого реагирования на непредвиденные общественно значимые события, метеорологическое управление обслуживает практически все отрасли национальной экономики, общественный, социально-экономический эффект от деятельности службы погоды отражают цифры соотношения вложенных в ее развитие средств к объему вырученных,

составляющего один к сорока.

Официально гидрометеорологические наблюдения ведется в Японии с конца девятнадцатого века. Метеорологические наблюдения делятся на наблюдения у поверхности земли, аэрологические наблюдения, автоматические метеорологические наблюдения, наблюдения за ОУП, цунами и землетрясениями.

В нашей стране метеорологические наблюдения у поверхности Земли осуществляются с использованием автоматизированной системы сбора данных (АМеDAS), которая состоит примерно из 1200 автоматических станций. Эти станции равномерно распределены по территории на расстоянии в среднем 17 км друг от друга [21].

Система АМеDAS начала свою работу 1 ноября 1974 года и с течением времени постоянно проходит усовершенствование. Вся сеть автоматических станций проводит наблюдения непрерывно и через каждые 10 мин. передаёт информацию в штаб-квартиру Японского метеорологического агентства, в Токио по телефонным линиям, где проходит верификацию и анализ.

Примерно 700 станций из всего количества проводят измерение температуры воздуха, количества осадков, направление и скорость ветра, а также продолжительность солнечного сияния. Ещё около 300 станций ведут наблюдения только аз осадками, а примерно 280 расположены в горных районах и местах обильного выпадения снега, поэтому в дополнение ко всем прочим параметрам, автоматически измеряет высоту СП (рисунок 7).

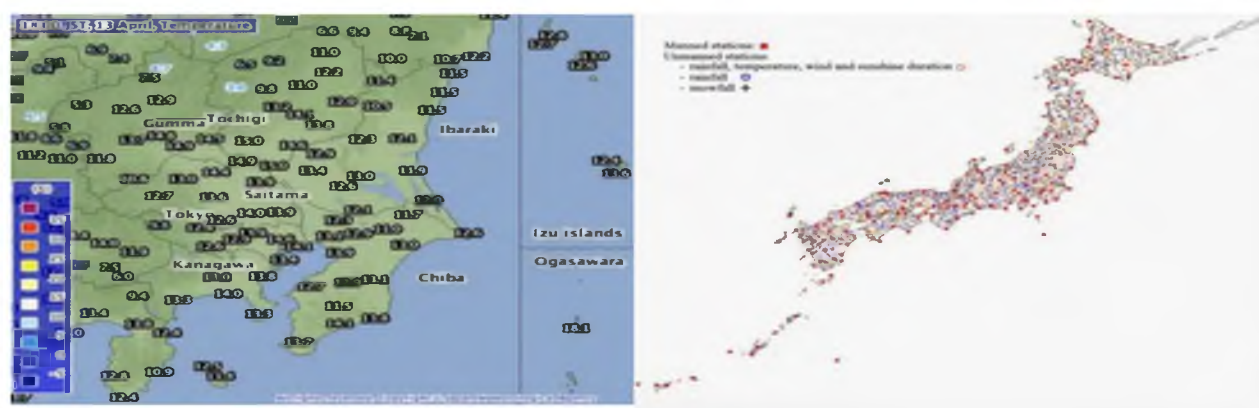


Рисунок 7 — Сеть автоматических и неавтоматических метеостанций

на территории Японии (справа) и пример получения данных по температуре воздуха с автоматических станций в единый срок (слева)

Японская сеть МРЛ насчитывает по территории 20 радиолокаторов, из них 16 доплеровские.

Полученные данные от радаров проходят визуализацию и наносятся на комплексную карту каждые 5 минут с целью оперативного мониторинга осадков по всей стране.

Кроме этого, благодаря доплеровскому принципу действия имеется возможность наблюдения радиальными скоростями перемещения воздушных потоков, а также размером и концентрацией гидrometeopов в облаках (рисунок 8).



Рисунок 8 — Сеть японских метеорологических радиолокаторов

Наблюдения за метеорологическими характеристиками в свободной атмосфере осуществляются при помощи двух различных систем:

- радиозондная сеть наблюдений (включает 20 станций по запуску зондов);

- сеть наблюдением аз профилями ветра (насчитывает 13 станцию). Сеть радиозондов проводит мониторинг состояния атмосферы от приземного слоя до высоты около 30 км, измеряя температуру, давление, характеристики влажности и ветра. Наблюдения проводятся 2 раза в сутки: в 00 и 12 UTC.

В 1977 году Япония запустила свой первый геостационарный метеорологический спутник, работавший на высоте около 36 000 км и на долготе 140 град. в.л. В настоящее время многофункциональный транспортный

спутник (MTSAT-IR), запущенный в 2005 году в эксплуатацию, выполняет наблюдения каждые 30 минут на 5 каналах 1 (видимый диапазон и 4 ИК). Ещё один спутник, MTSAT-2 (запущен в 2006 г.), взял на себя функцию визуализации данных с MISAT-IR. Наряду с информацией от MTSAT. Японское метеорологическое агентство использует данные различных полярных орбитальных спутников, таких как серии NOAA, Metop, а также спутников, таких как TRMM и AQUA. 1956 года Японское метеорологическое агентство (Japan Meteorological Agency - JMA) при Министерстве транспорта (с 2001 г. Ministry of Land, Infrastructure and Transport).

JMA отвечает за повышение уровня общественного благосостояния за счёт предотвращения стихийных бедствий. Также JMA предоставляет информацию о землетрясениях, цунами, вулканической деятельности. Кроме того, JMA обеспечивает безопасность в транспортной сфере, сельском хозяйстве, социальной сфере и других отраслях промышленности. Также JMA развивает международное сотрудничество в области гидрометеорологии и охраны окружающей среды.

JMA занимается проведением атмосферных и океанографических наблюдений. Для этого у агентства есть широкая сеть метеорологических и аэрологических станций, обсерваторий, буйковых станций, радаров и метеорологических спутников. JMA регулярно публикует прогнозы погоды, в том числе морские и авиационные. Они могут быть разной заблаговременности: краткосрочные, двухдневные, семидневные, а также долгосрочные — одно- и трёхмесячные или сезонные с указанием общей тенденции погоды [21].

Для долгосрочных прогнозов широко применяются статистические методы. Краткосрочные и среднесрочные прогнозы составляются с использованием отечественных и зарубежных гидродинамических моделей. Для обработки метеорологической и океанографической информации и для прогностических расчётов применяется суперкомпьютер.

JMA является одним из региональных метеорологических центров



Всемирной службы погоды ВМО и связано с мировыми метеорологическими центрами в Вашингтоне и Мельбурне, а также с региональными и национальными центрами в других странах: Америке, Китае, Австралии, Индии, России (Хабаровск), Южной Корее и других регионах.

Более 80 авиационных бюропогоды обеспечивают гидрометеорологическое обслуживание авиации, в том числе международной. Допплеровские радары имеются в международных аэропортах Новом Токио (Narita), Токио (Haneda), Kansai и Sapporo.

JMA осуществляет контроль за опасными явлениями природы. Наблюдательная сеть при JMA обсерваториях («EarthquakePhenomenaObservationSystem» - EPOS) контролирует 20 действующих вулканов Японии. Кроме этого, существует система наблюдений аз землетрясениями и цунами при районных метеорологических обсерваториях («EarthquakeandTsunamiObservationSystem» - ETOS).

Общая система наблюдений составлена из приблизительно 3000-ми измерителей сейсмической активности, в том числе, 180-тью сейсмографами для непрерывного контроля землетрясений, а также используются видеонаблюдения, полевые съёмки [6].

В Японии, наряду с государственной гидрометеорологической службой существует несколько десяткой частных компаний, обеспечивающих метеорологическое обслуживание различных пользователей. Частные компании обязаны заключать договоры о сотрудничестве с JMA, которая предоставляет им необходимые данные для осуществления их деятельности.

### 3 Сравнительный анализ системы измерений гидрометеорологических показателей в сети стран ВМО

Как видно из примеров особенностей производства метеорологических наблюдений в различных частях нашей земли (США, Японии, Австралии, Европе и Китае) все они основываются на принципах разработанных ВМО. В мире существует развитая сеть автоматических метеорологических станций, которые позволяют проводить наблюдения на основе единой системы. Одной из таких станций является Автоматическая метеорологическая станция фирмы Вайсала — MAWS (рисунок 9).

Для российских пользователей эта станция известна под названием «Метеостанция МЛ-102». Она создана на основе нового поколения малых автоматических метеорологических станций (АМС) фирмы Вайсала — MAWS.

Модуль WXT510, которым оснащена эта станция, позволяет измерять скорость и направление ветра, количество осадков, атмосферное давление, температуру и относительную влажность воздуха. Станция предназначена для оперативной организации наблюдений и получения точных метеорологических данных [10].

Автоматическая метеорологическая станция MAWS201 от VaisalaHydro MetTM специально разработана для временных сооружений. Благодаря лёгкому весу, низкому энергопотреблению и большому объёму памяти процессора, эта станция идеально подходит для использования в различных исследованиях.



Рисунок 9 — Автоматические метеорологические станции

Из всех выше указанных гидрометеорологических измерений можно сделать вывод, что гидрометеорологическая сеть состоит из гидрометеорологических обсерваторий, станций и постов. Информация с гидрометеорологических постов поступает на гидрометеорологические станции -основные первичные производственные единицы, непосредственно получающие, частично обрабатывающие и передающие информацию в одно.

Наиболее полные и точные наблюдения и обобщения производятся в немногочисленных метеорологических и аэрологических обсерваториях. Гидрометеорологические станции и посты подразделяются по видам (характеризуют область их деятельности) и разрядам (определяются объёмом выполняемых наблюдений и работ).

По видам станции и посты делятся: метеорологические, гидрологические, морские, аэрологические, агрометеорологические, а также специализированные.

Метеорологические станции регистрируют основные элементы погоды: атмосферное давление, температуру и влажность воздуха, скорость и направление ветра, количество и высоту облаков, количество осадков, поток тепла, видимость и др. Отмечаются также особые явления - метели, грозы, туманы. На более многочисленной сети метеорологических постов наблюдают местные особенности распределения и режима осадков, снежного покрова, повторяемости гроз, метелей, туманов и др. В труднодоступных местностях, кроме обычных, размещаются радиометеорологические посты, регистрирующие в определённые сроки состояние основных элементов погоды и передающие их автоматически на станции [19].

Источниками гидрологической информации служат гидрологические станции и прикрепленные к ним посты (15-20) на реках, крупных каналах, озёрах и водохранилищах, а также ряд пунктов специализированных наблюдений (водно-балансовых, стоковых, болотных, устьевых и прибрежных, снеголавинных и др.).

В число основных наблюдаемых явлений и измеряемых параметров, на

реках, озёрах и водохранилищах, входит: уровень и расход воды (только на реках), температура воды, волнение, цвет, прозрачность, химический состав воды, течения (на озёрах и водохранилищах), ледовые явления (времязамерзания, толщина льда, высота снега на льду, даты вскрытия, образование заторов, очищение ото льда). Гидрологические посты проводят наблюдения по упрощённой программе (Россия и СНГ, наряду с государственной Китай) [9].

Гидрометеорологической сетью функционируют и ведомственные гидрометеорологические сети, создаваемые обычно на период проектирования, строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, а также частные компании (США, Австралия). Они имеют, как правило, ограниченный период наблюдений, дополняют материалы наблюдений основных гидрометеорологических сетей Росгидромета и производят специальные исследования (зон затопления, русловых процессов, ледового режима и др.) применительно к конкретным задачам проектирования. Кроме этого, в некоторых странах (Австралия) используются данные собранные и переданные волонтерами.

В конце 20 - начале 21 века для гидрометеорологических исследований стали широко применяться дистанционные методы наблюдений и измерений: радиолокационные, авиационные, космические. Появились автоматические метеостанции, гидрологические установки на водных объектах, позволяющие вести непрерывные наблюдения, накапливать и передавать информацию в центры сбора и анализа данных.

В 1950 году основана ВМО, которая как установлено, является компетентным органом ООН по вопросам наблюдения за состоянием атмосферы Земли и её взаимодействия с океанами. Штаб-квартира ВМО находится в Женеве, Швейцария [11].

Ежегодно 23 марта отмечается Всемирный метеорологический день. В этот день вступила в силу Конвенция об основании Всемирной метеорологической организации (ВМО), которая является специализированным

учреждением Организации Объединённых Наций и авторитетным источником ООН по вопросам состояния атмосферы Земли, океанов и климата.

На сегодняшний день в состав ВМО входит 191 государство и территория. Это подчёркивает важность международного сотрудничества в глобальном масштабе для развития метеорологии и гидрологии, а также для получения выгод от их применения. ВМО обеспечивает основу для такого международного сотрудничества [11].

С момента своего создания ВМО играет важную роль в содействии безопасности и благополучию всего человечества. Под руководством ВМО и в рамках её программ национальные метеорологические и гидрологические службы вносят значительный вклад в защиту жизни и имущества от стихийных бедствий, охрану окружающей среды и укрепление экономического и социального благосостояния всех слоёв общества в таких областях, как продовольственная безопасность, водные ресурсы и транспорт.

ВМО способствует развитию сотрудничества в создании сетей для проведения метеорологических, климатологических, гидрологических и геофизических наблюдений, а также обмена, обработки и стандартизации соответствующих данных. Организация помогает передаче технологий, подготовке кадров и научным исследованиям. Она также способствует сотрудничеству между национальными метеорологическими и гидрологическими службами своих членов и применению метеорологии в сельском хозяйстве, авиации, судоходстве, а также в охране окружающей среды, водных ресурсов и в смягчении последствий стихийных бедствий.

ВМО способствует свободному и неограниченному обмену данными и информацией в реальном или почти реальном времени по вопросам, касающимся охраны и безопасности общества, экономического благосостояния и защиты окружающей среды. Она вносит вклад в разработку политики в этих областях на национальном и международном уровнях.

В конкретных случаях с погодой, климатом и водой, на долю которых приходится почти 90 % всех стихийных бедствий, программы ВМО

предоставляют жизненно важную информацию для предупреждения, что спасает жизни и уменьшает ущерб имуществу и окружающей среде. ВМО также способствует снижению воздействия деятельности человека, техногенных катастроф, таких как те, что связаны с химическими и ядерными авариями, лесными пожарами и вулканическим пеплом.

ВМО играет ведущую роль в международных усилиях по мониторингу и охране окружающей среды в рамках своих программ. В сотрудничестве с другими учреждениями ООН и национальными метеорологическими и гидрологическими службами ВМО содействует реализации ряда экологических конвенций и играет важную роль в предоставлении консультаций и оценок правительствам по соответствующим вопросам. Эти мероприятия — вклад в обеспечение устойчивого развития и благополучия народов.

Таким образом, установлено, что страны имеют развернутую метеорологическую сеть, используют передовые технологии и передают свои наблюдения в единые международные центры (приложение 7,8).

Таблица 3 — Сравнительный анализ точности метеорологических данных

Страна	Методы сбора данных	Типы данных	Точность прогнозирования
РФ	Метеорологические станции, радары, спутники, автоматические метеорологические станции	Используются стандартные единицы измерений	76%
Канада	Автоматические метеорологические станции и морские буи (обработка данных NOAA)	Используются стандартные единицы измерений	98%
США	Автоматические станции, спутниковые системы, данные с мобильных пунктов и устройств, системы на базе Ai и GPT	Используются стандартные единицы измерений	99%

В данной таблице видно, как по современным данным отличается точность метеорологических прогнозов в разных странах. Так же заметно, что США и их использование новейших технологий выходит на самый точный прогноз по сравнению с РФ и Канадой.

## Заключение

В последние десятилетия в ряде регионов мира отмечается увеличение повторяемости, интенсивности и продолжительности, экстремальных погодноклиматических проявлений.

Особенности гидрометеорологических измерений за рубежом, в основном направлены в большей своей части на предупреждение катастрофических наводнений, засухи, ураганов, селей, а также резкого изменения температуры, цунами и других опасных природных явлений уносящих жизни людей и подрывают экономическое развитие. Автоматические системы по своей структуре очень схожи друг с другом, а также чаще устанавливаются у нас наряду с аналоговыми средствами метеорологических измерений. Однако в странах Европы и США эволюция и развитие метеорологических систем мониторинга, и аппаратных систем прогнозирования сильно ускорилось за последние годы, добавляя более очные методы. Начиная от дронов, заканчивая системами на базе самообучаемого искусственного интеллекта, гидрометеорологические службы западных стран повышают точность прогнозов, аналоги которых пока недоступны в России сети Росгидромета, однако и начинают создаваться и реализоваться у частных корпораций.

В работе дана оценка гидрометеорологическим наблюдениям за рубежом, в таких странах как: США, Австралия, Япония, Китай и частично в Европе.

В результате проделанной работы сделаны следующие выводы:

- В повседневной работе на зарубежных станциях используются как стационарные посты, так и автоматизированные метеорологические станции, типа Вайсала.

Помимо этого, идет стремительное развитие и внедрение в работу современных технологий, аналогов которым на данный момент нет в России.

- Проведенный анализ гидрометеорологических измерений зарубежом, позволяет говорить, что фактически измерения производятся по единой

системе, однако имеется ряд особенностей, как в системе измерений, так и времени, так, например, в Японии особое внимание уделяется аэрологическим наблюдениям, с частотой передачи каждые 10 минут, а в Австралии.

- В США уделяется большое внимание гидрометеорологической службе, как на уровне государства, так и имеется ряд частных компаний, которые занимаются сбором, обработкой информации и передачей метеорологических данных и составлением прогнозов. Что позволяет за счет их обширных ресурсов быстрее развивать метеорологические станции и методики измерений, привнося за их счет новые технологии, которые государственные структуры не могут развить по причине ограниченных бюджетных средств. Автоматические метеорологические станции получают и обрабатывают информация, постоянно, временной перерыв не превышает 7 минут, что аналогично и данным для Российских станций. Однако происходят революционные изменения которые ближайшие годы позволят ускорить работы гидрометеорологических систем западных стран.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие предложения: с целью минимизации рисков как экономических, так и общественных, наиболее целесообразно и необходимо правительствами, деловыми и научными кругами, гражданскому обществу, разработать прогнозы климатических изменений и связанных с ними экстремальных явлений на ближайшую перспективу 5-20 лет с использованием космических спутников и расширять использование автоматических метеорологических станций, с использованием аналогичных систем нейросетевых моделей, которые уже разрабатываются в России частными компаниями, в том числе и создание государственных систем на основе наработок как западных корпораций, находящихся в открытом доступе, так и локальных местных компаний.

Продолжая тему прогнозирования на основе Искусственного Интеллекта, стоит упомянуть технологию распознавания зон выпадения осадков от Яндекса. Разработчики представили её на 25-й конференции по обнаружению знаний и добыче данных в США в 2019 году. Затем был опубликован доклад



«Прогнозирование осадков по спутниковым изображениям».

Специалисты Яндекса объединили данные радаров, спутниковые снимки и гидродинамические расчёты компьютерной модели GFS. На основе этих данных была разработана нейросетевая модель на архитектуре UNet, способная распознавать зоны выпадения осадков по геостационарным спутниковым снимкам.

Яндекс действительно распознаёт фактические зоны выпадения осадков, но возникают проблемы, когда он пытается прогнозировать их перемещение. Компания использует бета-версию своего софта, который обучается на собственных системах и архивных данных Росгидромета, как и упомянутый Google.

Если фронтальные осадки можно просто сдвинуть по воздушному потоку, то с конвективными осадками всё сложнее. Грозовые ячейки быстро зарождаются и деградируют. Они определяются по температуре верхней границы облачности. Чем выше ячейка, тем ниже температура. Когда она достигает 10 – 12 км, нейросеть фиксирует грозовую ячейку, а значит, под ней может идти дождь.

По логике модели METIUM, грозовую ячейку надо сдвинуть по воздушному потоку в пределах 2 часов. Но грозовые ячейки — это сложные физические объекты, которые могут увеличиться в десятки раз за 2 часа, а вместе с ними увеличивается и зона выпадения осадков. Поэтому недостаточно просто сдвинуть зону осадков по потоку, необходимо спрогнозировать её эволюцию, а это самая сложная задача.

Я неоднократно замечал, как Яндекс сдвигал такие тучи на 2 часа вперёд, хотя по спутнику они уже начинали деградировать. Нейросеть Яндекса не понимает, что это не просто плоское пятно осадков, а объёмный физический объект со своей структурой и жизненным циклом. Поэтому, когда я слежу за грозовой активностью, я вынужден комбинировать данные Яндекса и спутника.

Однако модель российского техно-гиганта ещё крайне сырая и молодая, и пока ещё неизвестные данные, которые компания обнаружит и выпустит в

публичное использование, могут значительно улучшить показатели.

Что же касается температуры, то здесь Яндекс со своей технологией "METIUM" не демонстрирует ничего сверхъестественного, значительно уступая системе от Google, на что так же скорее всего влияет молодость нейросети.

В ходе полученных выводов предлагаются следующие рекомендации: - адаптировать Российские гидрометеорологические станции к работе с различными зарубежными станциями на базе ИИ, до тех пор пока местные структуры не сравниваются с ними;

- расширить взаимодействия между системой Роскомгидромета и зарубежными метеорологическими организациями, а также перенимая зарубежный опыт NOAA и Google, начать сотрудничество с локальными компаниями, по доступу к данным, полученным зарубежными и частными гидрометеорологическими станциями для составления более детального прогноза. Для этого необходимо проводить совместную стратегию по уменьшению уязвимости общества к воздействию опасных природных явлений, решения доступа к информации, снижения стоимости данной информации, увеличения численности спутников.

Все страны нуждаются в расширении доступа к информации и созданию научного потенциала, который позволит правительству разрабатывать стратегии планирования и обеспечения развития с учетом климатических факторов.

## Список использованной литературы

1. Воробьев, В.И. Основные понятия синоптической метеорологии. Учебное пособие. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2003 - 48 с.
2. Восканян, А.Д., Кузнецов, О.С. «Автоматические метеорологические станции» Тактико-технические характеристики: учебное пособие.— СПб.: РГГМУ, 2016. — 170 с.
3. Дашко, Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии Владивосток: ДВГУ, 2005. — 523 с.
4. Методические указания по дисциплине «Методы и средства гидрометеоро - логических измерений». Специальность - метеорология. - СПб.: РГГМУ, 2013. - 24 с.
5. Полякова, ЛС., Кашарин, Д.В. Метеорология и климатология Новочеркасск: НГМА, 2004. — 198 с.
6. Травин, У. Источник - «Зарубежное военное обозрение» № 5 1988. — 170 с.
7. Google. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений ВМО - № 8. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.meteo.gov.ua/f/avia/wmo/007\\_avia\\_wmo.pdf](https://www.meteo.gov.ua/f/avia/wmo/007_avia_wmo.pdf) (дата обращения: 26.04.2024).
8. Ходжаева, Г.К. Метеорологические методы и приборы наблюдений: Учеб. пособие. — Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013. — 189 с.
9. Яндекс. автоматические метеорологические станции. [Электронный ресурс]. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Атмосфера\\_Земли](http://ru.wikipedia.org/wiki/Атмосфера_Земли) (дата обращения: 20.04.2024).
10. Яндекс. Спутниковые наблюдения и методы их обработки. [Электронный ресурс]. URL: <http://atm563.phys.msu.ru/rus/sattomo.htm> (дата обращения 20.02.2024)
11. Яндекс. История-развития-синоптической-метеорологии

[Электронный ресурс]. URL: <http://pogoda43.ru/news/468/66/.html> (дата обращения 05.02.2024)

12. Яндекс. Метеорологические службы в странах Европы и Центральной Азии: Региональный обзор. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.copyright.com/> (дата обращения 05.02.2024)

13. Майл. VaisalaWeatherRadarWRM200, [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vaisala.com/en/defense/products/weatherradar/Pages/WRM200.aspx> (дата обращения 05.02.2024)

14. Google. Learning skillful medium-range global weather fore-casting [Электронныйресурс]. URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/science> (дата обращения 05.02.2024)

15. Яндекс. Технология прогнозирования METIUM, [Электронный ресурс]. URL: <https://meteum.ai/weather/en-US/blog/meteum-weather-forecasting-technology-with-proprietary-ai-based-data-processing-core> (дата обращения 12.05.2024)

16. Google. Meteorology, [Электронный ресурс]. URL: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/Meteorology> (дата обращения 02.03.2024)

17. Яндекс. ИИ впервые предсказал прогноз точнее метеоролога, [электронный ресурс] URL: <https://naked-science.ru/article/hi-tech/ii-vpervyye-predskazal-pog> (дата обращения 25.01.2024)

18. Google. Webarchivemeteorology, [Электронныйресурс] URL: <https://web.archive.org/web/20140304042159/> (дата обращения 01.03.2024)

19. Яндекс. Новые метеорологические спутники, [Электронный ресурс] URL: <http://nakedscience.ru/article/sci/new-satellite-gpm> (дата обращения 08.03.2024)

20. Яндекс. Метеорологические мифы и то, как на самом деле предсказывают погоду, [Электронный ресурс] URL: <https://naked-science.ru/events/meteorologi-mify-i-realnost> (дата обращения 08.03.2024)

21. Яндекс. Найден способ упрощения метеорологического анализа. [Электронный ресурс] URL: <https://naked-science.ru/article/column/v-tgu-nashli>

sposob (дата обращения 01.05.2024)

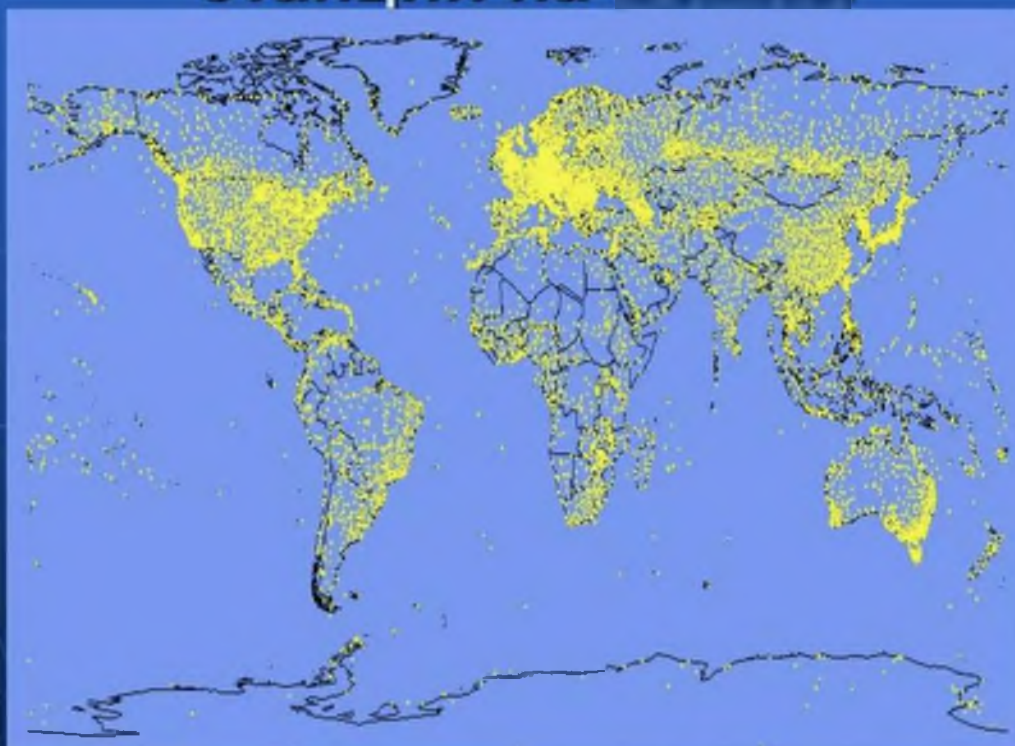
22. Яндекс. Китайская метеорологическая команда создала новый механизм контроля климата. [Электронный ресурс] URL: <https://naked-science.ru/article/sci/kitaj> (дата обращения 12.04.2024)

23. Яндекс. Новое исследование поможет в прогнозировании ОЯ. [Электронный ресурс] URL: <https://naked-science.ru/article/sci/novoe-issledovanie-pomozhet> (дата обращения 08.02.2024)

24. Яндекс. Нейросети научились создавать уникальные карты ветров. [Электронный ресурс] URL: <https://naked-science.ru/article/concept/unikalnaya-karta-vetrov-pokazyvaet> (дата обращения 01.03.2024)

25. Яндекс. Нейросети научились различать классы снежинок. [Электронный ресурс] URL: <https://naked-science.ru/article/sci/neyroset-razlichila-shest-klassov> (дата обращения 08.03.2024)

## Расположение метеорологических станций на Земле.

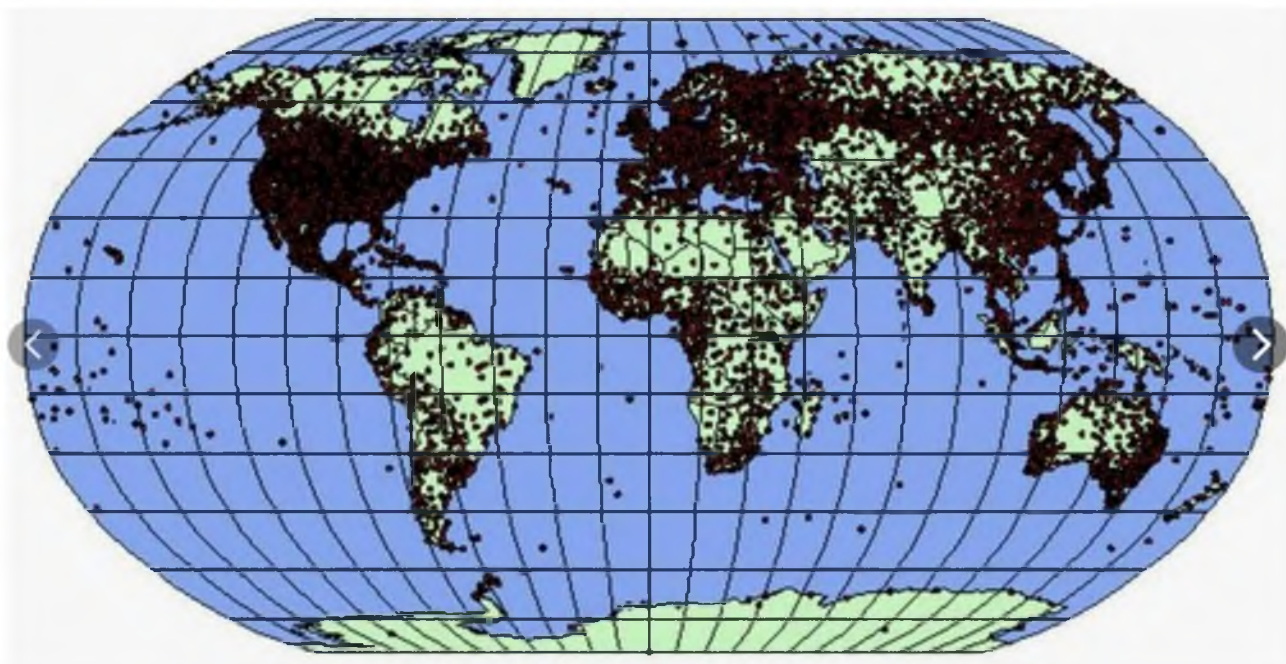


## Приложение 2



Станция MAWS 100

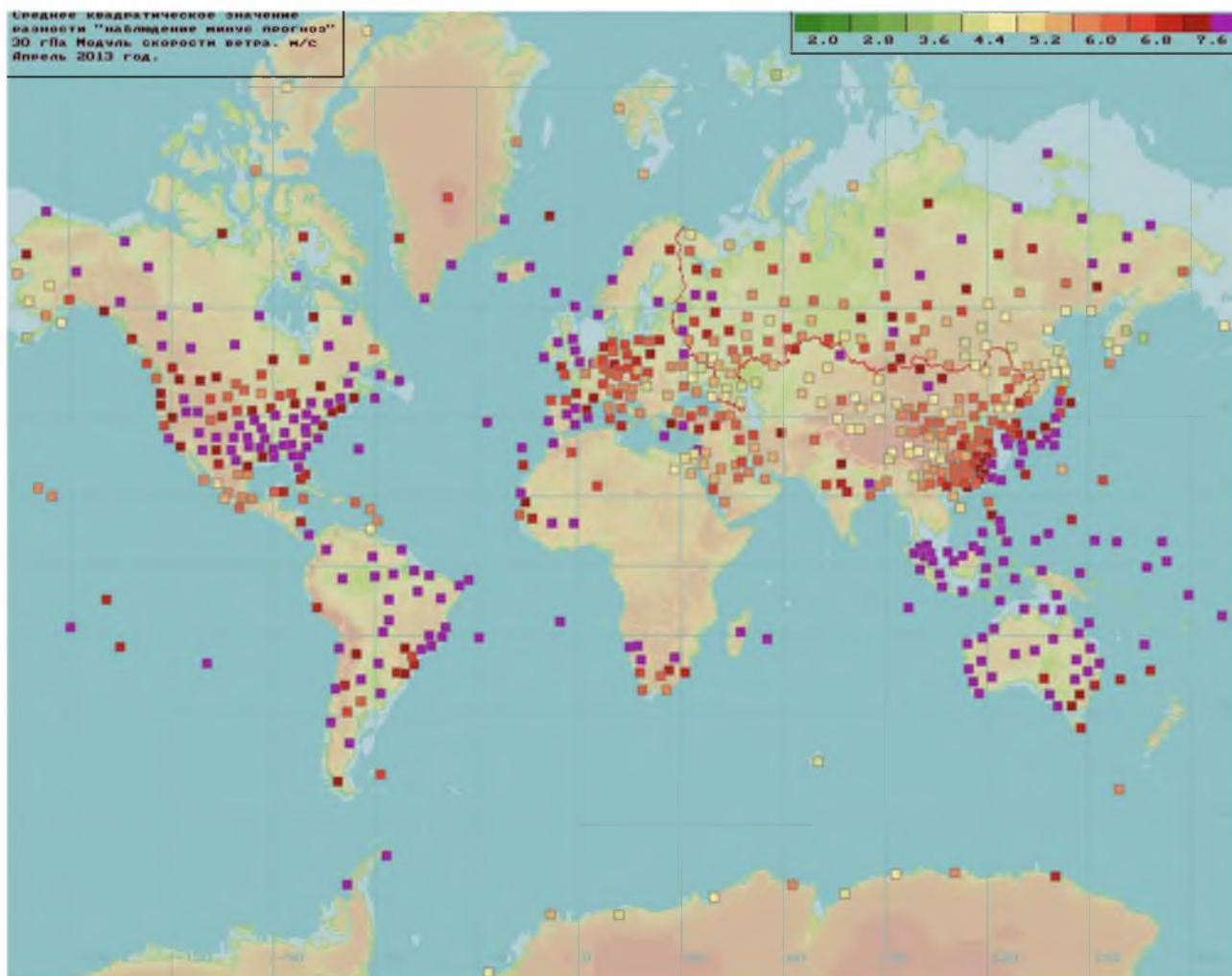
### Приложение 3



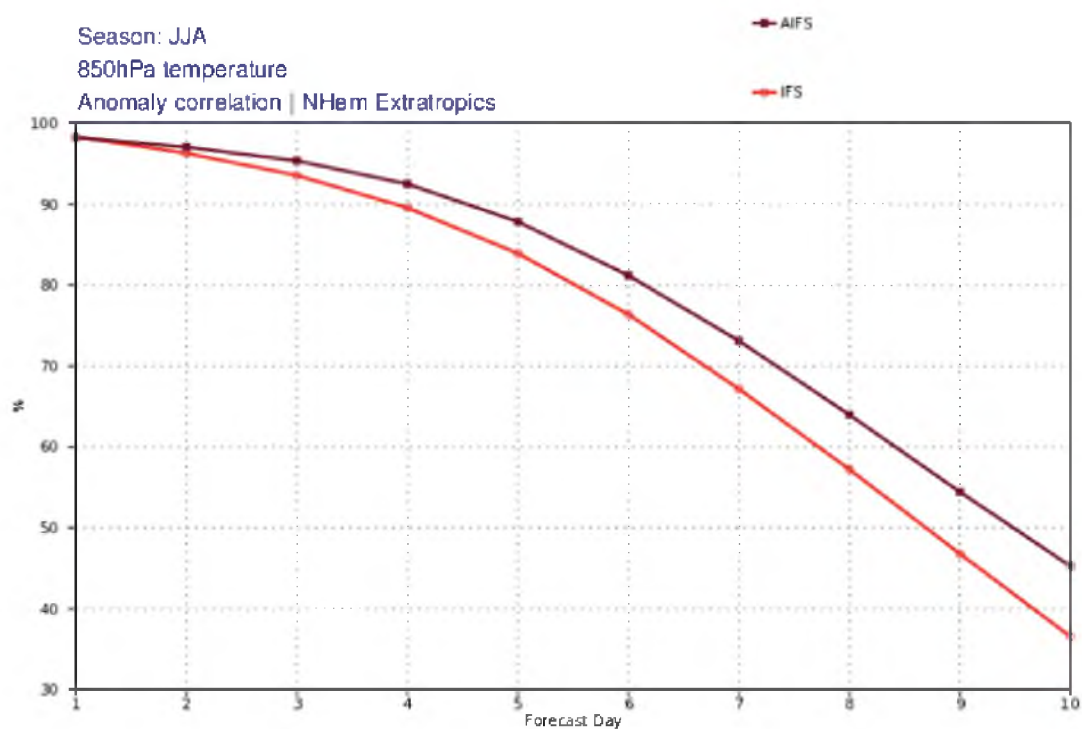
Сеть метеостанций



## Приложение 4



## Приложение 6



Сравнение AIFS (нейросеть) и классической IFS от ECMWF. Качество прогнозирования температуры на уровне 850 hPa (1500 метров)