



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

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему «Получение и обработка данных автоматических буйковых станций»

Исполнитель **Фролова Анастасия Александровна**
(фамилия, имя, отчество)

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

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

«16» мая 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

Оглавление

Введение	3
1. Буйковые автоматические метеорологические станции	5
1.1. Классификация буйковых АМС.....	6
1.2. Основные типы датчиков на буйковых станциях	11
1.3. Получение данных с буйковых АМС	15
2. Географическое и климатическое описание буйковых станций.....	18
2.1. Буйковая АМС №1	19
2.2. Буйковые АМС №2 и №3	21
3. Анализ данных буйковых АМС	24
3.1. Анализ данных буйковой АМС №1	24
3.2. Анализ данных буйковой АМС №2.....	27
3.3. Анализ данных буйковой АМС №3.....	31
3.4. Сравнение данных буйковых АМС за 2013 и 2012 гг	35
3.5. Анализ корреляционной зависимости	42
Заключение.....	45
Список использованных источников.....	46

Введение

Погодные условия сильно влияют на деятельность человека. Получение метеорологической информации способствует своевременному предупреждению о наступлении различных явлений погоды, что, в свою очередь, позволяет уменьшить возможные негативные последствия. В связи с этим по всему миру разбросана сеть метеорологических станций, снабжающих людей оперативной информацией о погоде. Однако существуют районы, в которых установка метеостанций затруднена или вовсе невозможна, что приводит к разработке других методов для измерения метеопараметров. К таким районам относятся обширные акватории Мирового океана, в мониторинге которого особое место занимают буйковые автоматические станции – автономные устройства, способные длительное время собирать и передавать данные о состоянии водной среды и атмосферы.

Использование таких станций позволяет получать оперативную и точную информацию о множестве метеорологических и океанографических параметров, что имеет большое значение для изучения климата, обеспечения безопасности судоходства и авиаперелетов, прогнозирования опасных природных явлений. В настоящее время буйковые станции являются неотъемлемой частью глобальных наблюдательных сетей и вносят существенный вклад в понимание процессов, происходящих в океане и атмосфере.

Актуальность темы обусловлена потребностью в достоверных гидрометеорологических данных в труднодоступных районах Мирового океана, которые необходимы для решения задач исследования климата, предотвращения чрезвычайных ситуаций и оптимизации морской и авиационной деятельности.

Цель работы:

Исследовать возможности буйковых автоматических метеостанций и проанализировать временную изменчивость метеопараметров на основе полученной с них информации.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Изучить особенности буйковых автоматических станций;
- Выбрать буйковые станции для проведения исследования;
- Рассмотреть климатические нормы для районов установки выбранных станций;
- Сформировать архив данных метеорологических параметров для выбранных станций;
- Построить графики и розы ветров по полученным данным;
- Провести анализ изменчивости метеопараметров на выбранных станциях;
- Сравнить изменчивость метеопараметров на станциях за разные годы;
- Определить силу связи между параметрами на разных станциях;
- Сделать выводы по проделанной работе.

1. Буйковые автоматические метеорологические станции

Буйковые автоматические метеостанции (рис. 1.1) представляют собой плавучие платформы, на которых установлено оборудование для инструментальных измерений различных метеорологических характеристик: атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, ветра, количества выпадающих осадков, наличия облаков или ясного неба. Они устанавливаются там, где нет других средств получения метеорологической информации.



Рисунок 1.1 – Внешний вид буйковой АМС

Буйковые станции могут производить как срочные измерения (в определенные сроки), так и внеочередные по специальному запросу. Результаты измерений кодируются, превращаются в систему радиосигналов и передаются в эфир для прослушивания центром по сбору метеоинформации.

Состав буйковой АМС также может быть дополнен океанографическими датчиками, расположенными на буйрепе (канат, на котором держится буй) и измеряющими характеристики водной среды: температура,

электропроводность, давление, соленость, содержание кислорода, скорость течения, мутность, показатель pH и др. [1]

Положение буйковой АМС в океане стабилизируется системой якорей специальной конструкции. Источником электричества является блок долговременного электропитания.

1.1. Классификация буйковых АМС

Все буйковые станции можно поделить на два типа: устанавливаемые на якорь (заякоренные) и свободно дрейфующие. Оба этих типа, в свою очередь, подразделяются на поверхностные и притопленные (заглубленные).

Как и следует из названия, заякоренные буйковые АМС закреплены в определенной точке пространства с помощью специальной системы цепей и канатов.

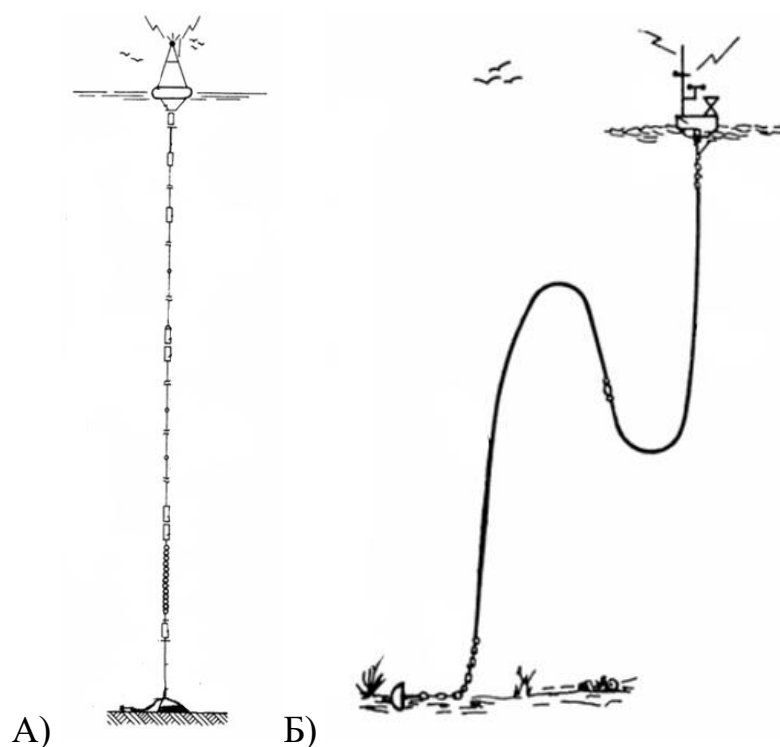


Рисунок 1.2 – Схемы заякоренных поверхностных буйковых АМС с натянутым буйрепом (А) и с расслабленным буйрепом (Б)

Поверхностные заякоренные буйковые станции (рис. 1.2) предназначены для измерения метеорологических параметров на границе раздела воздушной и водной сред, а также в верхних слоях воды. Они имеют форму горизонтальных дисков достаточно большого диаметра (10–12 м) или в виде вертикальных цилиндров и, как правило, пришвартовываются в глубоководных районах океана (рис. 1.3).

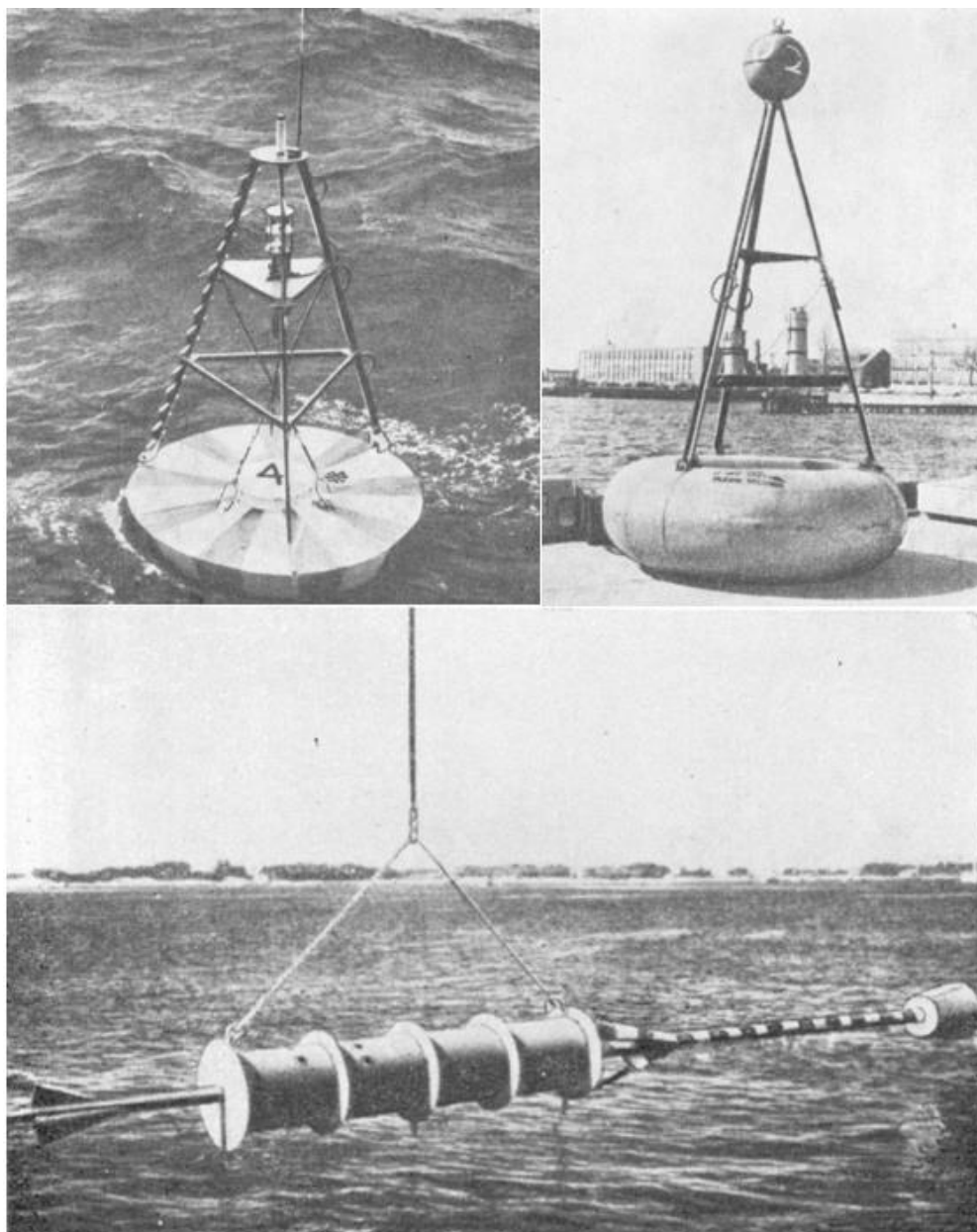


Рисунок 1.3 – Внешний вид поверхностных заякоренных буйковых станций с буюм в виде диска, в виде тороида и с вертикальным цилиндрическим буюм

Цилиндрические буй гораздо более устойчивы к волнениям океана, поэтому могут использоваться для установки на них автономных морских лабораторий.

Притопленные заякоренные буйковые станции (рис. 1.4) располагаются под водой на глубине более 100 м. Такие станции более экономичны, поскольку буйреп подвержен меньшему влиянию нагрузок и, вследствие этого, имеет больший срок эксплуатации.

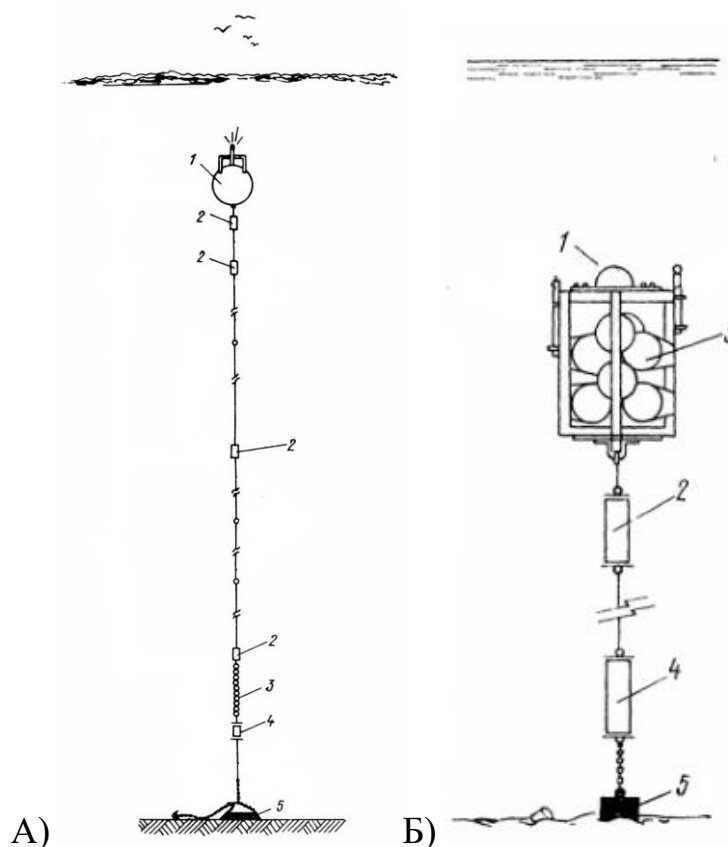
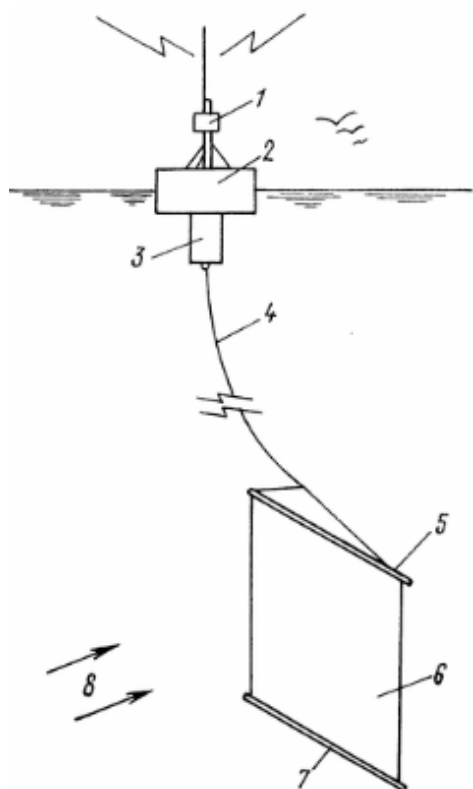


Рисунок 1.4 – Примеры заякоренных притопленных буйковых АМС с приповерхностным бумом (А) и с придонным бумом (Б): 1 – буй с радиомаяком и мигающим огнем, 2 – измерители скорости течений, 3 – подъемная система, 4 – акустический размыкатель, 5 – якорь

Дрейфующие буй имеют меньшие размеры, чем заякоренные. Они свободно дрейфуют в океане под воздействием ветра и океанических течений.

Такие буйковые станции одновременно регистрируют координаты местоположения, время и значение измеренного параметра, что позволяет проследить, как эти параметры изменяются во времени и пространстве. Недостатком является то, что дрейфующий буй оснащается меньшим количеством измерительных приборов, т. е. фиксирует меньшее количество метеопараметров. Дрейфующие буйковые станции, как правило, используют для измерения водных параметров на поверхности и на определенных глубинах.

Поверхностные дрейфующие буйковые станции (рис. 1.5) обычно обнаруживают посредством радиопеленгации или с помощью ИСЗ. Такие буи оснащены так называемым «подводным парусом» определенной формы и размера, которые обеспечивают перемещение буя со скоростью окружающей его воды.



- 1 – блок радиотелеметрической аппаратуры и приборов измерения параметров воздушной среды,
- 2 – собственно буй,
- 3 – приборы измерения параметров водной среды,
- 4 – буйреп,
- 5 – рама из плавучего материала,
- 6 – «подводный парус»,
- 7 – балласт,
- 8 – направление течения

Рисунок 1.5 – Схема поверхностной дрейфующей буйковой АМС

Притопленные дрейфующие буи (рис. 1.6) перемещаются вместе с водным потоком на заданной глубине. Это достигается тем, что буй имеет плотность, равную плотности воды на заданной глубине, причем плотность буя с глубиной должна изменяться медленнее, чем плотность воды. [2]



Рисунок 1.6 – Внешний вид дрейфующей притопленной буйковой АМС

Также существует система поверхностных заякоренных буйковых станций для предупреждения о цунами в глубоководных частях океана. На таких станциях давление с учетом температурных эффектов преобразуется в расчетную высоту поверхности моря (рис. 1.7). [3]



Рисунок 1.7 – Внешний вид буйковой станции предупреждения о цунами

1.2. Основные типы датчиков на буйковых станциях

Метеорологические датчики на автоматических буйковых станциях используются для сбора данных о погодных и океанографических условиях в режиме реального времени. Эти станции автономны, работают на солнечных батареях или других источниках энергии и передают информацию через спутниковые или радиоканалы.

Можно выделить несколько основных типов датчиков на буйковых станциях:

1) Датчики температуры и влажности

Температура воздуха измеряется на высоте 1,5–3 м над поверхностью воды. Примерами могут служить зондовый датчик температуры и влажности Vaisala HMP155 (Финляндия) (рис. 1.8) с платиновым термометром сопротивления Pt100 RTD для измерения температуры (диапазон $-80...60^{\circ}\text{C}$) и тонкоплёночным полимерным конденсатором HUMICAP[®] для измерения влажности, а также датчик Rotronic HC2A-S3 (диапазон $-50...200^{\circ}\text{C}$) (рис. 1.8),

который использует емкостной полимерный сенсор Hygromer®. Оба датчика не подвержены влиянию влаги и пыли, имеют долгий срок службы и являются высокоточными. [4], [5]



Рисунок 1.8 – Внешний вид датчиков температуры воздуха и влажности Vaisala HMP155 (A), Rotronic HC2A-S3 (Б) и температуры воды Sea-Bird SBE 38 (В)

Температура воды фиксируется на разных глубинах. Для примера, датчики Sea-Bird SBE 3 и SBE 38 (Sea-Bird Scientific) (рис. 1.8) для измерения температуры морской воды в диапазоне от -5 до -45°C. Точность этих датчиков достигает $\pm 0,001^{\circ}\text{C}$. [6]

2) Датчики ветра

Для измерения скорости и направления ветра используют анемометры и флюгеры. Также измеряются порывы ветра для анализа экстремальных условий. Например, ультразвуковой анемометр Gill WindSonic M (рис. 1.9), принцип работы которого основан на измерении времени прохождения ультразвуковых импульсов между датчиками (без движущихся частей) [7] или RM Young 05106 (рис. 1.9) – механический анемометр с флюгером [8]. Многофункциональный датчик Vaisala WXT530 измеряет скорость и

направление ветра, интенсивность и количество осадков, давление и температуру [4].

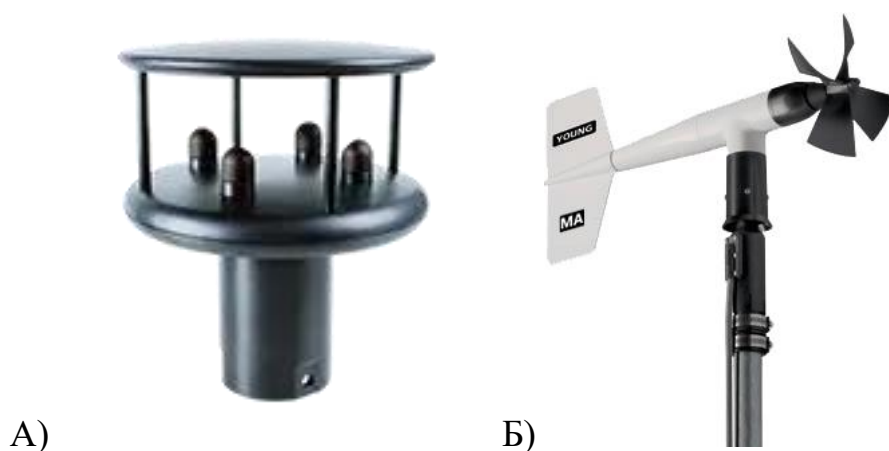


Рисунок 1.9 – Внешний вид датчиков скорости и направления ветра Gill WindSonic M (A) и RM Young 05106 (Б)

3) Датчики атмосферного давления

Атмосферное давление измеряется барометрами. Барометр Vaisala PTB330 оснащен датчиком BAROCAP®, который основан на микроэлектромеханической системе, где давление определяется по изменению ёмкости между двумя кремниевыми пластинами. Эта технология повышает устойчивость датчика к вибрациям и влажности, увеличивает срок его службы. [4]

4) Датчики волнения и течений

Высота и период волн измеряются акселерометрами и доплеровскими датчиками.

Скорость и направление течений определяется с помощью акустических доплеровских профилографов (ADCP). Они используют эффект Доплера для анализа движения частиц в водной толще: излучают акустические импульсы на определенной частоте и принимают сигнал, отраженный от взвешенных частиц воды.

5) Датчики солнечной радиации

Для измерения солнечной радиации в коротковолновом диапазоне (обычно 285–2800 нм) применяются пиранометры, например, термоэлектрический пиранометр Kipp & Zonen CMP6.

6) Датчики солёности и электропроводности

Для измерения данных параметров морской воды на буйковой станции могут быть использованы CTD-зонды (рис. 1.10), названные так по первым буквам параметров: электропроводность (conductivity), температура (temperature) и глубина (depth). При этом глубина рассчитывается при измерении гидростатического давления. По этим величинам можно рассчитать плотность воды, солёность, скорость звука в воде, температуру замерзания, вязкость, коэффициент преломления и др. Также прибор может быть дополнен кассетным пробоотборником, который позволяет брать пробы воды для анализа ее состава. Примером может служить CTD-датчик Sea-Bird SBE 37.

Также на буйковых станциях могут быть установлены датчики осадков, видимости и тумана для воздушной среды и содержания кислорода, pH, мутности и т. д. для водной среды.

Данные с датчиков передаются через:

- Спутниковые системы (Iridium, Inmarsat, Argos) – для удалённых буюв;
- Радиоканалы (GSM, LoRa, HF/VHF-радио) – для прибрежных станций;
- Сохранение во внутреннюю память – если связь временно недоступна.

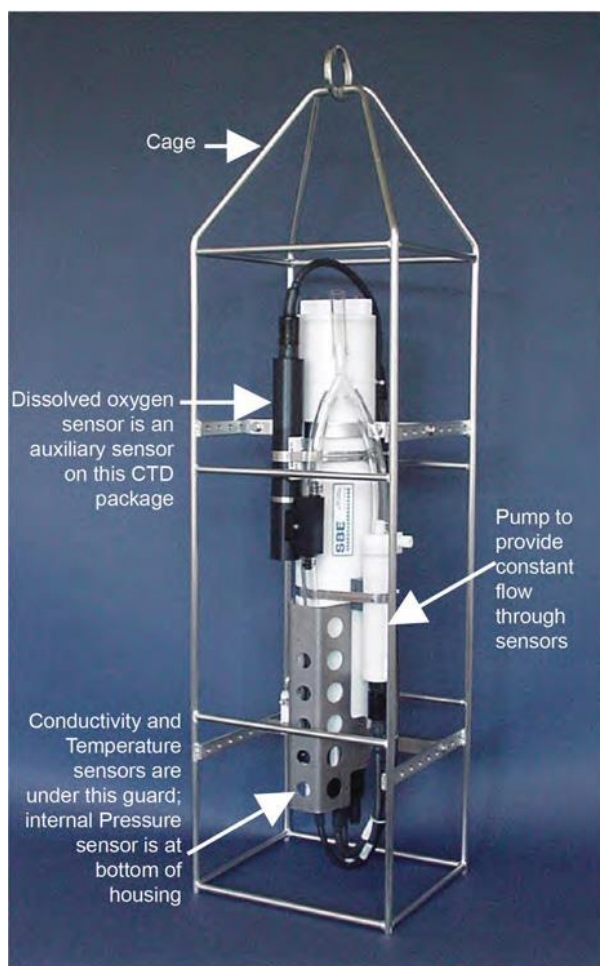


Рисунок 1.10 – Внешний вид CTD-зонда, оснащенного дополнительными датчиками

1.3. Получение данных с буйковых АМС

Все данные, участвовавшие в анализе, были взяты с сайта «National Data Buoy Center» (Национальный центр данных буйев). На нем представлены как работающие в настоящее время, так и содержащие только исторические данные буйковые станции по всему миру (рис. 1.11). Сайт предоставляет возможность свободно посмотреть и скачать данные с этих станций.

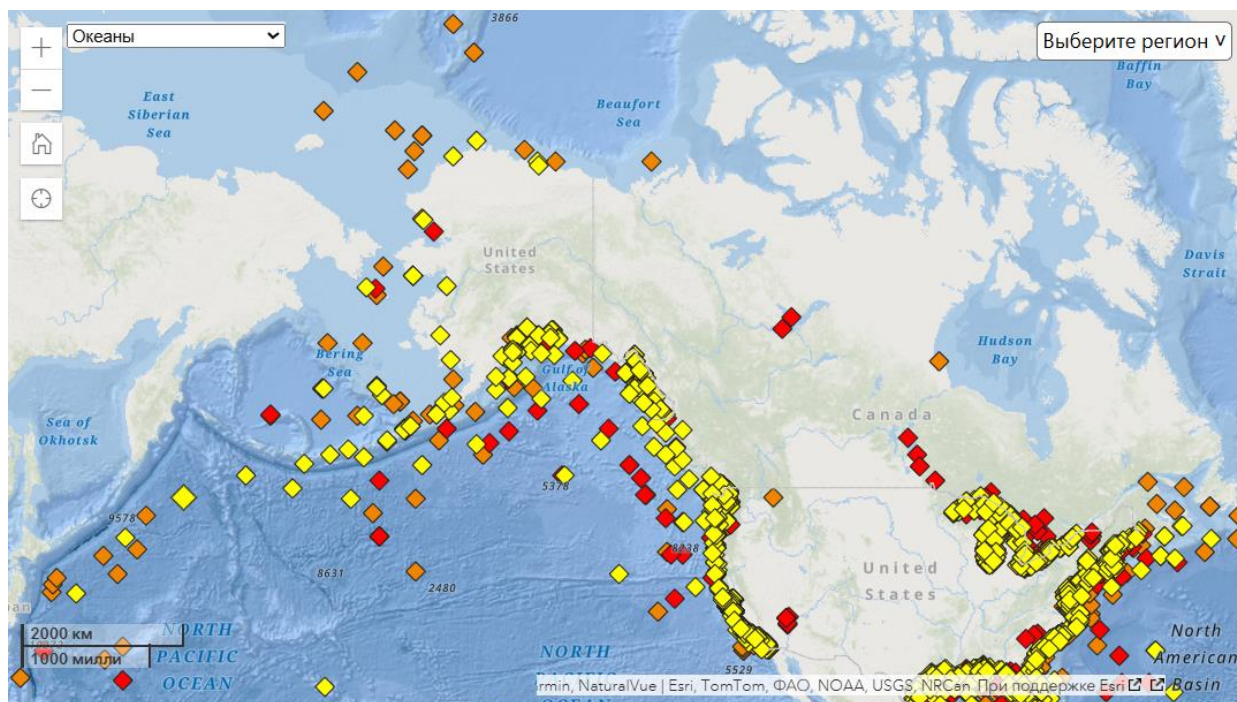


Рисунок 1.11 – Мировая интерактивная карта буйковых станций на сайте «National Data Buoy Center»

Также на сайте NDBC можно выбрать разные типы карты:

- Океаны — батиметрия, названия объектов и глубины;
- Спутник — спутниковые снимки с метками;
- Улицы — данные об автомагистралях или улицах;
- Топография — объекты с топографической карты мира.

Сайт NDBC предоставляет предупредительную информацию об опасных явлениях. Например, при наличии консультативного сообщения о тропических циклонах в Атлантике, Восточной или Центральной части Тихого океана от Национального центра по наблюдению за ураганами (National Hurricane Center) или Центра по наблюдению за ураганами в центральной части Тихого океана (Central Pacific Hurricane Center), веб-сайт NDBC отображает соответствующий значок на карте в месте расположения шторма.

[3]

Также создана мировая интерактивная карта станций предупреждения о цунами (рис. 1.12), расположенная на сайте <https://www.tsunami.gov>.



Рисунок 1.12 – Мировая интерактивная карта буйковых станций по предупреждению о цунами

2. Географическое и климатическое описание буйковых станций

Выбранные нами буйковые станции располагаются в Северном Ледовитом океане к северу и северо-востоку от северного побережья Аляски. Здесь штат Аляска омывается водами моря Бофорта и Чукотского моря (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Физическая карта Аляски

Рассмотрим климатические нормы районов, в которых расположены выбранные нами буйковые станции №1, №2 и №3. Две из них (№2 и №3) находятся в Чукотском море и одна в море Бофорта (№1) (рис. 2.2).

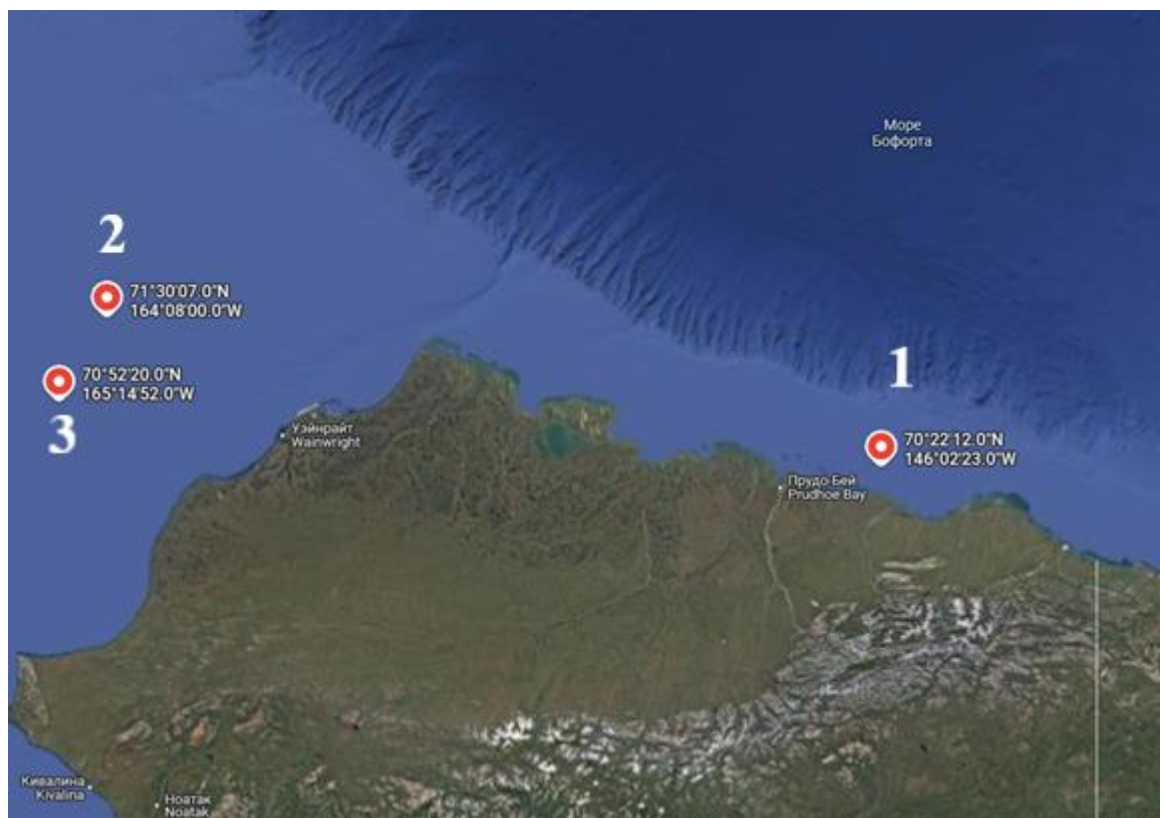


Рисунок 2.2 – Расположение буйковых станций №1, №2 и №3 на спутниковом снимке

2.1. Буйковая АМС №1

Буйковая автоматическая метеорологическая станция №1 (48211) Camden Bay (Shell Arctic) имеет координаты 70°22'12" северной широты и 146°2'23" западной долготы (рис. 2.3). Она располагается в шельфовой зоне моря Бофорта, глубина которой составляет около 100–200 м, на расстоянии примерно 25 км от береговой линии Аляски.

Море Бофорта находится за Северным Полярным кругом и имеет арктический климат с холодной суровой зимой и теплым коротким летом.

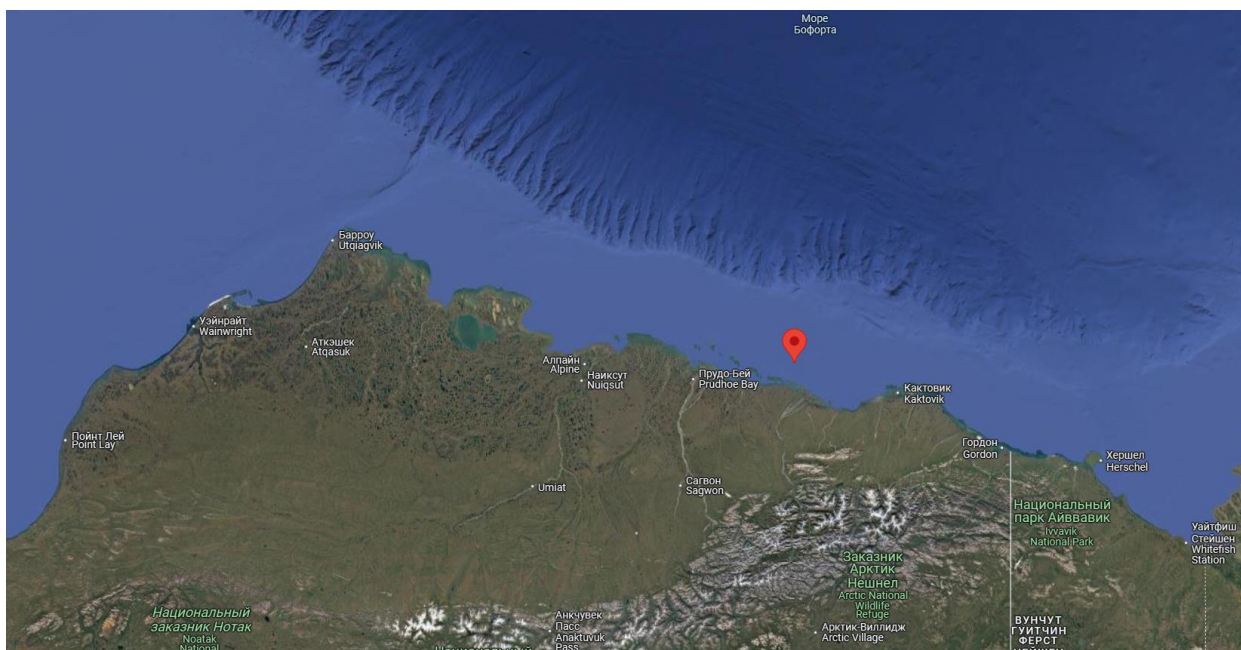


Рисунок 2.3 – Местоположение буйковой АМС №1 на спутниковом снимке

Зимой над морем Бофорта простирается Полярный антициклон, преобладают северные и северо-восточные ветры скоростью 6–8 м/с. В прибрежной зоне ветры приобретают западное направление в связи с влиянием орографии и изрезанной береговой линии. Также направление ветра изменяется из-за проходящих циклонов, зарождающихся в Алеутской депрессии и перемещающихся на северо-восток. Осень и зима являются штормовыми сезонами, в этот период скорости ветра достигают 25 м/с. Средняя температура в январе равна $-28...-30^{\circ}\text{C}$ [4].

Летом влияние барических образований на море Бофорта ослабевает, развивается циклоническая деятельность. Ветер становится неустойчивым, однако преобладающими являются северо-восточные и юго-западные направления. В прибрежной зоне развиваются бризы. Средняя скорость ветра составляет 5–6 м/с. Средняя температура в июле (самом теплом месяце) равна $6...8^{\circ}\text{C}$. Уже в начале сентября осуществляется переход к зимним климатическим условиям [12].

В море Бофорта круглый год присутствуют льды, за исключением южной прибрежной части, где лёд вскрывается в августе-сентябре [9] на расстояние

50—100 км от берега [10]. Лед начинает образовываться в конце августа — начале сентября и распространяется с северо-запада к юго-востоку. Таяние льда начинается в июне в прибрежной зоне с запада на восток.

Температура поверхности моря более низкая, чем температуры на глубинах и держится в диапазоне от $-1,4^{\circ}\text{C}$ в конце лета до $-1,8^{\circ}\text{C}$ зимой [9].

За рассматриваемый временной промежуток (сентябрь—октябрь) на этой станции можно приблизительно принять одинаковыми климатические условия в городе Прудо-Бэй ($70^{\circ}18'$ с. ш. $148^{\circ}40'$ з. д.), который находится на побережье одноименного залива моря Бофорта. Таким образом, для буйковой АМС №1 климатическими нормами являются:

- Для сентября — температура от -1 до 4°C , средняя скорость ветра 9 м/с, давление 1013 гПа;
- Для октября — температура от -10 до -4°C , средняя скорость ветра 9 м/с, давление 1013 гПа.

2.2. Буйковые АМС №2 и №3

Буйковая АМС №2 (48213) Burger имеет координаты $71^{\circ}30'7''$ северной широты и $164^{\circ}8'0''$ западной долготы (рис. 2.4). Она находится на расстоянии около 170 км от береговой линии Аляски.

Буйковая АМС №3 (48214) Klondike (MOB1) имеет координаты $70^{\circ}52'20''$ северной широты и $165^{\circ}14'52''$ западной долготы (рис. 2.5). Ее расстояние до берега составляет около 130 км.

Глубина моря в районе обеих этих станций небольшая — до 50 м.

У Чукотского моря полярный морской климат, характеризующийся небольшим поступлением солнечной радиации и малыми годовыми колебаниями температуры воздуха.

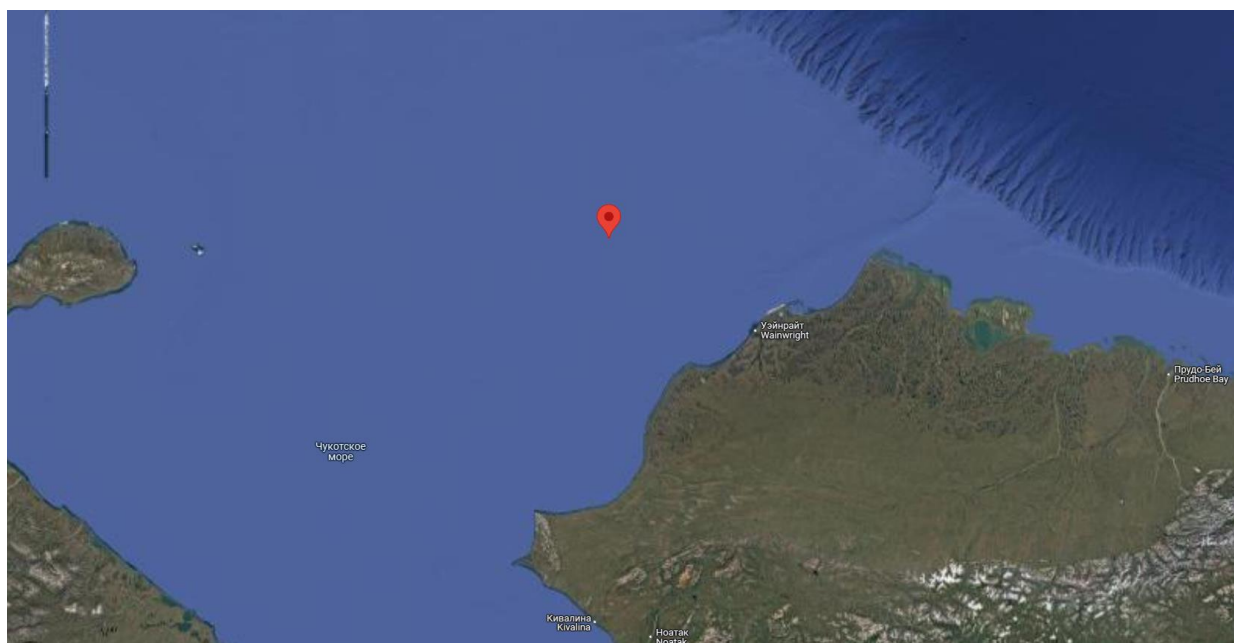


Рисунок 2.4 – Местоположение буйковой АМС №2 на спутниковом снимке

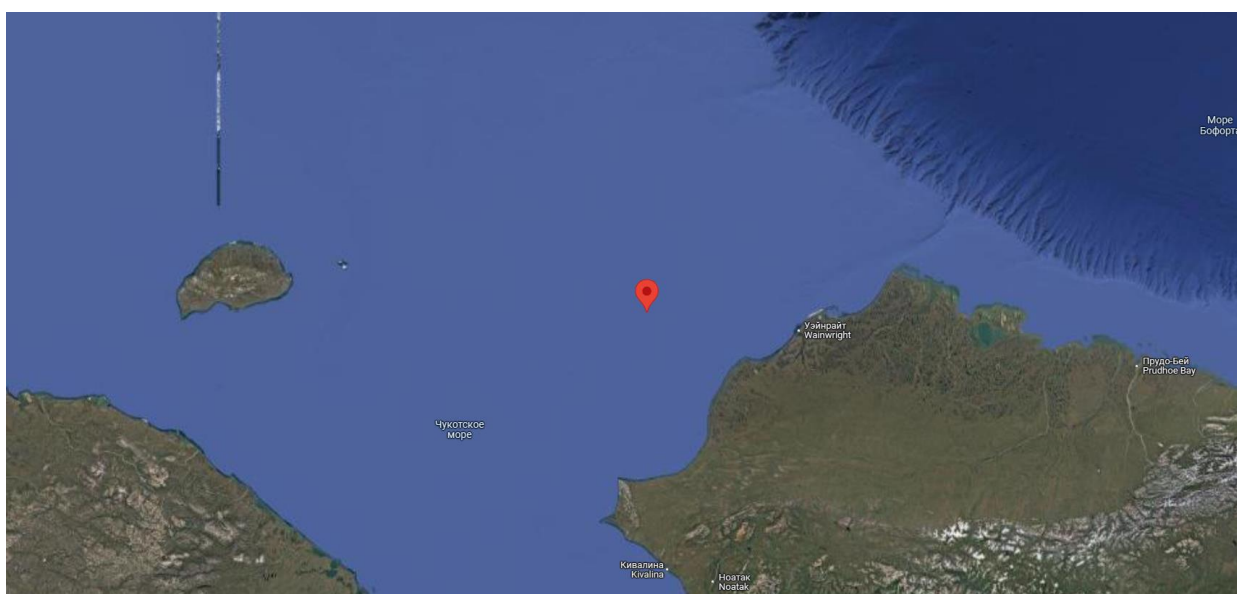


Рисунок 2.5 – Местоположение буйковой АМС №3 на спутниковом снимке

В осенне-зимний период на Чукотское море оказывают влияние отроги Сибирского и Полярного антициклонов и Алеутский минимум. Вследствие такого распределения барических систем устойчивые направления ветра отсутствуют. Средние скорости ветра составляют 6—8 м/с. Осенью в море

штормовой сезон, характеризующийся усилением ветра, способствующего возникновению волн высотой до 7 метров, однако зимой с образованием ледяного покрова волнение ослабевает [11]. Температура воздуха в октябре около -8°C , в феврале – $-28...-25^{\circ}\text{C}$.

Летом к Аляске приближается отрог Тихоокеанского максимума, вследствие чего над свободными ото льдов пространствами воды наблюдается повышенное давление. В летний период штормовая активность снижается. Температура в июле колеблется от 3 до 6°C . Лето очень короткое, дождливое, уже в августе начинаются заморозки.

Температура воды летом колеблется от 4 до 12°C , зимой – от $-1,6$ до $-1,8^{\circ}\text{C}$ [12].

Эти две станции находятся далеко от побережья, поэтому в определении климатических норм данного региона мы не можем ориентироваться на климатические данные прибрежных городов Аляски.

3. Анализ данных буйковых АМС

В этой главе будут рассмотрены временные ряды измерений таких метеорологических параметров, как скорость и направление ветра, атмосферное давление, температура воздуха и поверхности океана на трех выбранных автоматических метеорологических буйковых станциях.

При исследовании этих данных возникла проблема, связанная с неравномерностью шага измерений по времени, вследствие чего появилась необходимость привести данные на всех трех станциях к одинаковому временному интервалу с одинаковым временным шагом. Таким образом, был сформирован архив данных в период с 13 сентября 14 часов до 5 октября 16 часов 2013 г. с шагом в 2 часа.

3.1. Анализ данных буйковой АМС №1

Буйковая АМС №1 (48211) имеет координаты 70°22'12" северной широты и 146°2'23" западной долготы. Архив данных станции включает измерения с 6 августа 2011 по 24 октября 2011, с 1 сентября по 9 октября 2012 и с 1 августа по 5 октября 2013 г. с неравномерным шагом измерений. На данной метеостанции есть возможность измерить такие параметры как направление и скорость ветра в градусах и м/с соответственно, порывы ветра (м/с), значимая высота волны (м), средний и преобладающий периоды волн (с), направление прихода волн преобладающего периода (градусы), давление на уровне моря (гПа), температура воздуха, температура на поверхности океана, температура точки росы, видимость станции (морские мили), уровень воды во время прилива, коротковолновое и длинноволновое излучение солнечной радиации.

На рисунке 3.1 представлен график изменения скорости ветра за исследуемый период (13 сентября – 5 октября 2013 г) с шагом измерений в 2 часа.



Рисунок 3.1 – Временной ход скорости ветра по данным буйковой станции №1

По данным станции среднее значение скорости ветра составляет 4,7 м/с. Преобладающее значение скорости ветра равняется 2,4 м/с. Максимальным значением скорости воздушного потока является 10,3 м/с, достигнутое 18 сентября 2013 года. Высокие значения также наблюдались 27 сентября (9,7 м/с), 1 октября (9,3 м/с). Минимум скорости ветра в данный период был зафиксирован 4 и 5 октября (штиль). Также низкие значения наблюдались 20 сентября (0,2 м/с) и 23 сентября (0,1 м/с). Амплитуда скорости ветра за выбранный период равна 10,3 м/с.

Среднее значение атмосферного давления на станции (рис. 3.2) составило 1010 гПа, преобладающим давлением за данный период было 1013,2 гПа. Максимальное значение давления достигало 1027,1 гПа 16 сентября 2013 г, большое значение так же наблюдалось 1 октября (1021,6 гПа), минимальное значение равнялось 987,8 гПа и было зафиксировано 21 сентября. Амплитуда давления составляет 39,3 гПа. На рисунке видно, что в точке установки станции с 19 по 24 сентября проходила область пониженного давления.

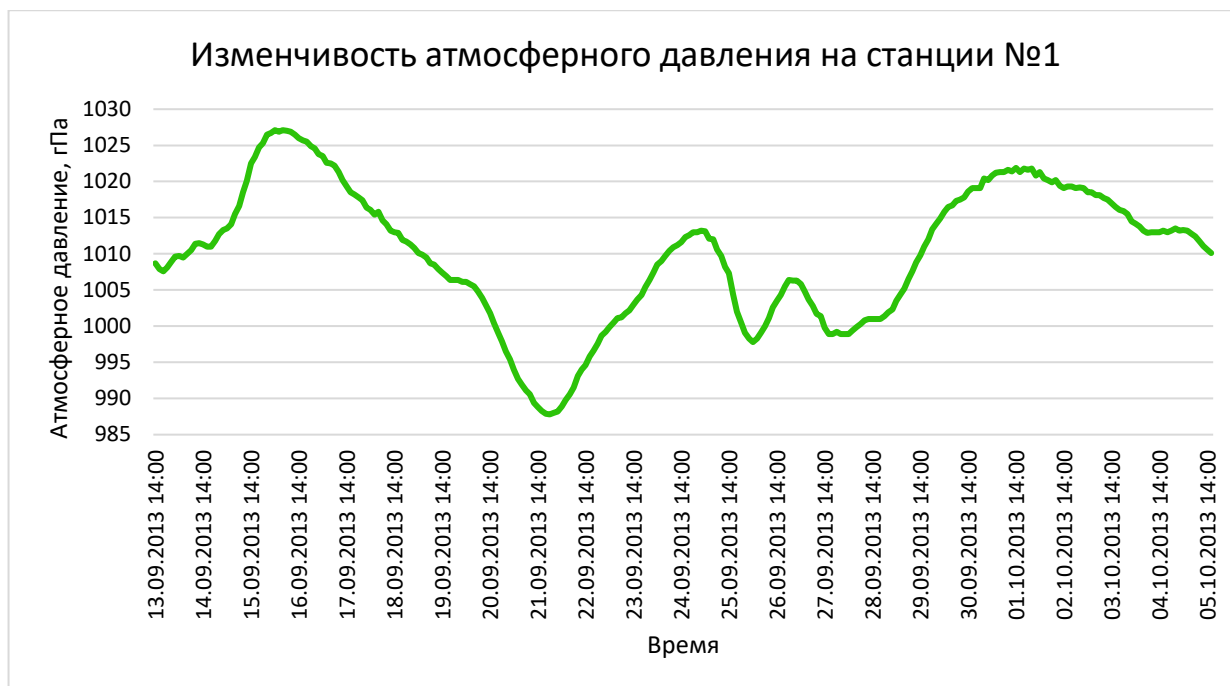


Рисунок 3.2 – Временной ход атмосферного давления по данным буйковой станции №1

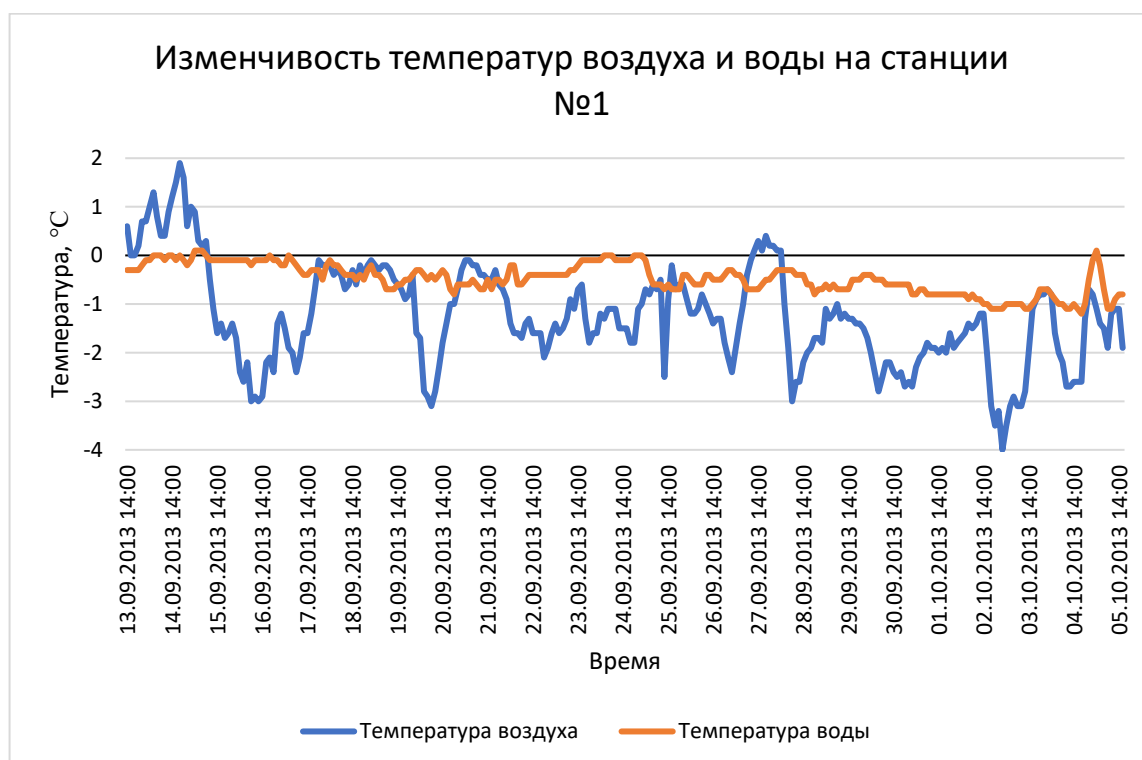


Рисунок 3.3 – Временной ход температуры воздуха и температуры поверхности океана по данным буйковой станции №1

Рассмотрим временной ход температуры воздуха и поверхности океана. На рисунке 3.3 видно, что у температуры воздуха наблюдается суточный ход, тогда как температура океана колеблется в весьма небольших пределах – от -1,2 до 0,1 °С, то есть амплитуда составляет лишь 1,3°С. Это объясняется тем, что вода нагревается и охлаждается дольше, чем воздух, поэтому температура воды не успевает адаптироваться к изменениям температуры воздуха.

Среднее значение температуры поверхности моря – -0,5°С. Температура воды поднималась выше нулевого значения всего два дня за исследуемый период – 15 сентября и 5 октября (0,1°С), весь остальной промежуток времени значения были отрицательными, что соответствует климатическим особенностям района, в котором расположена буйковая станция №1.

На графике (рис. 3.3) показано, что температура воздуха преимущественно была ниже температуры поверхности океана. Средняя температура воздуха составила -1,2°С, преобладающим значением за выбранный период измерений было -1,6°С. Максимум наблюдался 14 сентября и достиг 1,9°С, минимум же составил -4°С 3 октября. Амплитуда температуры воздуха составила 5,9 °С.

3.2. Анализ данных буйковой АМС №2

Буйковая АМС №2 (48213) имеет координаты 71°30'7" северной широты и 164°8'0" западной долготы. Архив данных станции включает измерения с 1 сентября по 12 октября 2012 г., с 1 августа по 31 октября 2013 г., с 25 августа по 8 октября 2014 г. и с 14 июля по 9 августа 2015 г. с неравномерным шагом измерений. На данной метеостанции есть возможность измерить те же стандартные метеорологические параметры, как и на буйковой АМС №1 (направление и скорость ветра, порывы ветра, значимая высота волны, средний и преобладающий периоды волн, направление прихода волн преобладающего периода, давление на уровне моря, температура воздуха, температура на поверхности океана, температура точки росы, видимость станции, уровень

воды во время прилива), коротковолновое и длинноволновое излучение солнечной радиации, а также параметры океанических течений (расстояние от поверхности моря до середины ячеек глубины (м), направление течения океана (градусы), скорость океанского течения (см/с).

На рисунке 3.4 представлен график изменения скорости ветра за исследуемый период (13 сентября – 5 октября 2013 г) с шагом измерений в 2 часа.

По данным станции среднее значение скорости ветра составляет 6,3 м/с. Преобладающее значение скорости ветра равняется 6,8 м/с. Максимальным значением скорости воздушного потока является 12,6 м/с, достигнутое 21 сентября 2013 года. Минимум скорости ветра в данный период был зафиксирован 1 октября (0,1 м/с). Также низкие значения наблюдались 26 сентября (0,8 м/с), 27 сентября (0,9 м/с) и 3 октября (0,7 м/с). Амплитуда скорости ветра за выбранный временной промежуток равна 12,5 м/с.



Рисунок 3.4 – Временной ход скорости ветра по данным буйковой станции №2

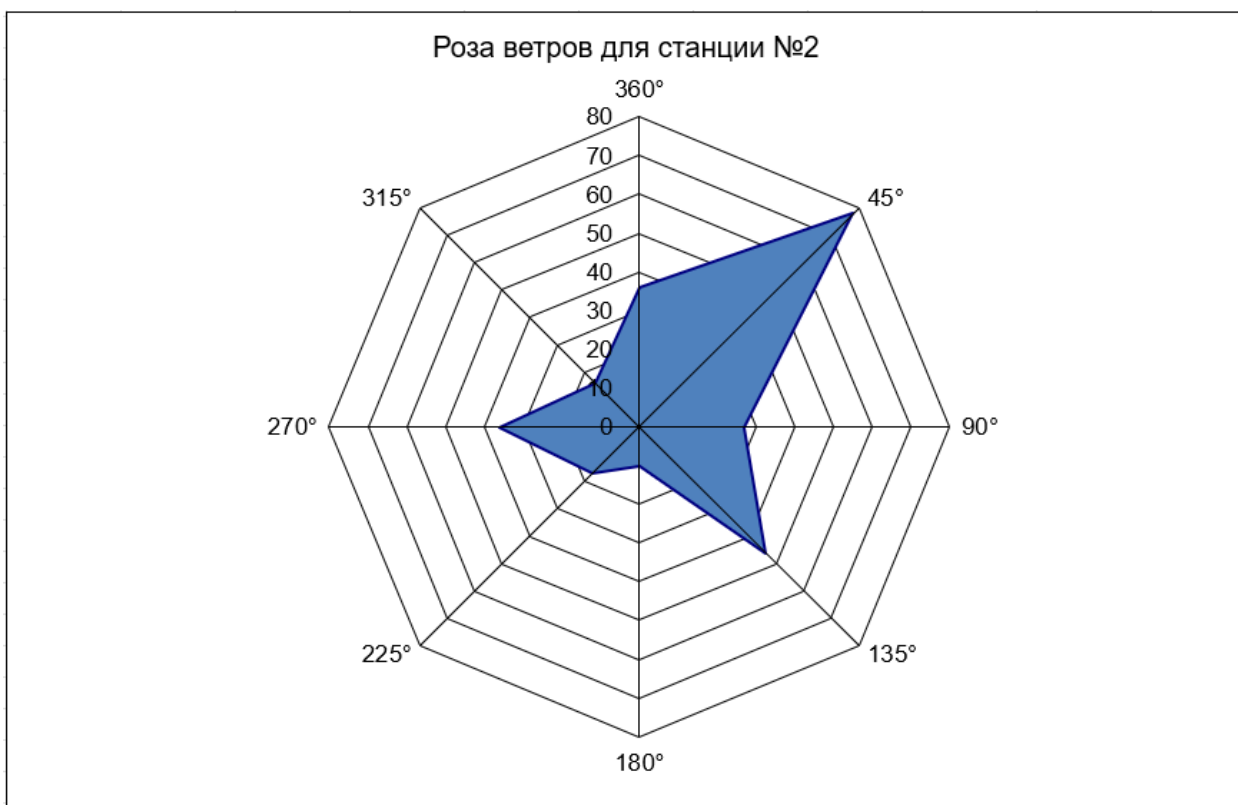


Рисунок 3.5 – Повторяемость направлений ветра на буйковой станции №2

Роза ветров (рис. 3.5) показывает, что за выбранный период преобладали ветры северо-восточных и юго-восточных направлений. Наиболее редко встречалось южное и северо-западное направление (около 10 случаев за весь период для каждого).

На графике атмосферного давления (рис. 3.6) видно, что в период с 20 по 29 сентября в месте установки станции проходил циклон, что соответствует усилению скорости ветра 20 сентября (рис. 3.4). Среднее значение атмосферного давления на станции составило 1012,9 гПа, преобладающим давлением за данный период было 1000,1 гПа. Максимальное значение давления достигало 1030,2 гПа 16 сентября 2013 г, большое значение так же наблюдалось 1 октября (1024,0 гПа), минимальное значение равнялось 997,2 гПа и было зафиксировано 25 сентября. Амплитуда давления равна 33 гПа.



Рисунок 3.6 – Временной ход атмосферного давления по данным буйковой станции №2

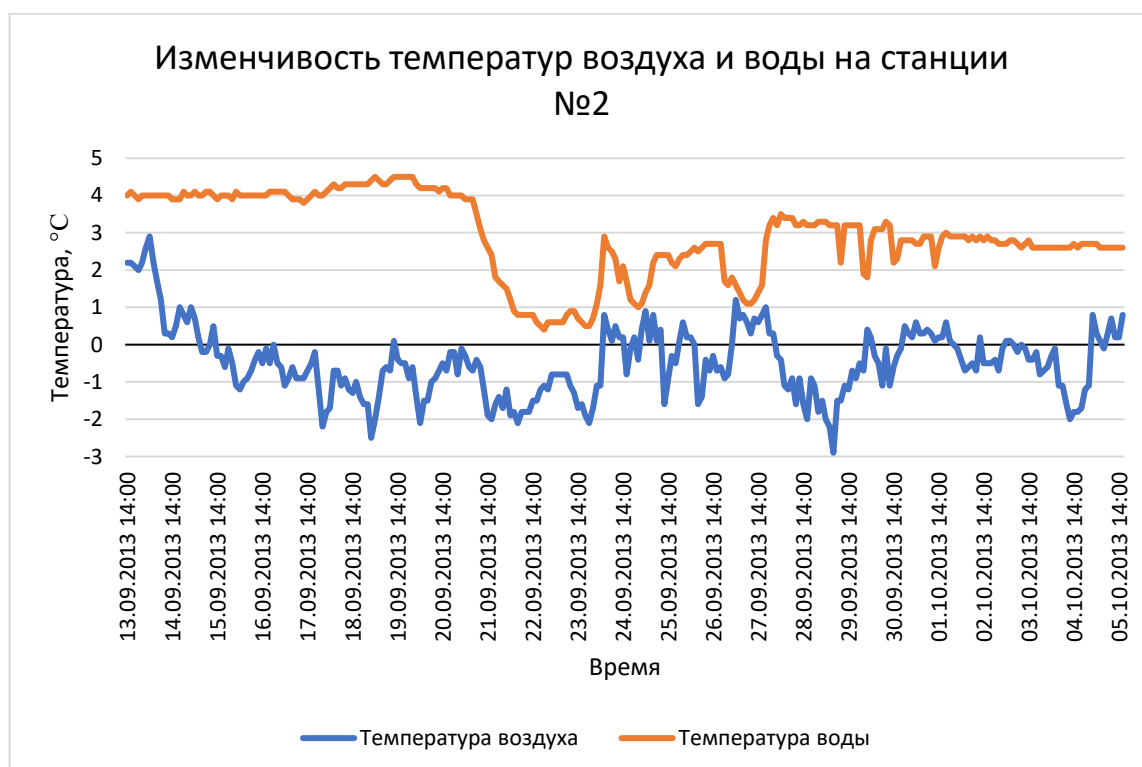


Рисунок 3.7 – Временной ход температуры воздуха и температуры поверхности океана по данным буйковой станции №2

Рассмотрим временной ход температуры воздуха и поверхности океана. На рисунке 3.7 видно, что температура воздуха ниже температуры поверхности океана на протяжении всего периода времени. Это говорит о том, что исследуемому периоду предшествовал достаточно сильный и устойчивый по времени прогрев воздуха, вследствие которого вода также достаточно сильно прогрелась и при понижении температуры воздуха еще не успела остыть. Средняя температура воздуха составила $-0,5^{\circ}\text{C}$, преобладающим значением за выбранный период измерений было $-0,7^{\circ}\text{C}$. Максимум наблюдался 14 сентября и достиг $2,9^{\circ}\text{C}$, минимум же составил $-2,9^{\circ}\text{C}$ 29 сентября. Амплитуда температуры воздуха составила $5,8^{\circ}\text{C}$.

Среднее значение температуры поверхности моря – $2,9^{\circ}\text{C}$. Температура воды за исследуемый период была положительной. Преобладающее значение составило 4°C . Максимум был достигнут 19 сентября и составил $4,5^{\circ}\text{C}$, минимум – 22 сентября ($0,4^{\circ}\text{C}$). Амплитуда температуры воды равна $4,1^{\circ}\text{C}$.

3.3. Анализ данных буйковой АМС №3

Буйковая АМС №3 (48214) имеет координаты $70^{\circ}52'20''$ северной широты и $165^{\circ}14'52''$ западной долготы. Архив данных станции включает измерения с 1 сентября по 11 октября 2012 г., с 1 августа по 11 октября 2013 г., с 1 августа по 8 октября 2014 г. и с 8 июля по 13 октября 2015 г. с неравномерным шагом измерений. Данная метеостанция измеряет те же стандартные метеорологические параметры, как и буйковые АМС №1 и №2, коротковолновое и длинноволновое излучение солнечной радиации и параметры океанических течений.

На рисунке 3.8 представлен график изменения скорости ветра за исследуемый период (13 сентября – 5 октября 2013 г) с шагом измерений в 2 часа.



Рисунок 3.8 – Временной ход скорости ветра по данным буйковой станции №3

Среднее значение скорости ветра составляет 6,5 м/с. Преобладающее значение скорости ветра равняется 7,2 м/с. Максимальным значением скорости воздушного потока является 13,2 м/с, достигнутое 21 сентября 2013 года. Минимум скорости ветра в данный период был зафиксирован 23 сентября (0,3 м/с). Также низкие значения наблюдались 3 октября (0,6 м/с). Амплитуда скорости ветра за выбранный временной промежуток равна 12,9 м/с.

На розе ветров (рис. 3.9) видно, что на станции №3 за выбранный период преобладали ветры северо-восточных направлений. Ветер западного и северо-западного направлений встречался наиболее редко (менее 10 случаев для каждого).

По графику (рис. 3.10) видно, что, как и для станции №2, в период с 20 по 29 сентября в месте установки станции проходил циклон, что также соответствует усилению скорости ветра 20 сентября (рис. 3.8). Это объясняется достаточно близким расположением станций №2 и №3 относительно друг друга.

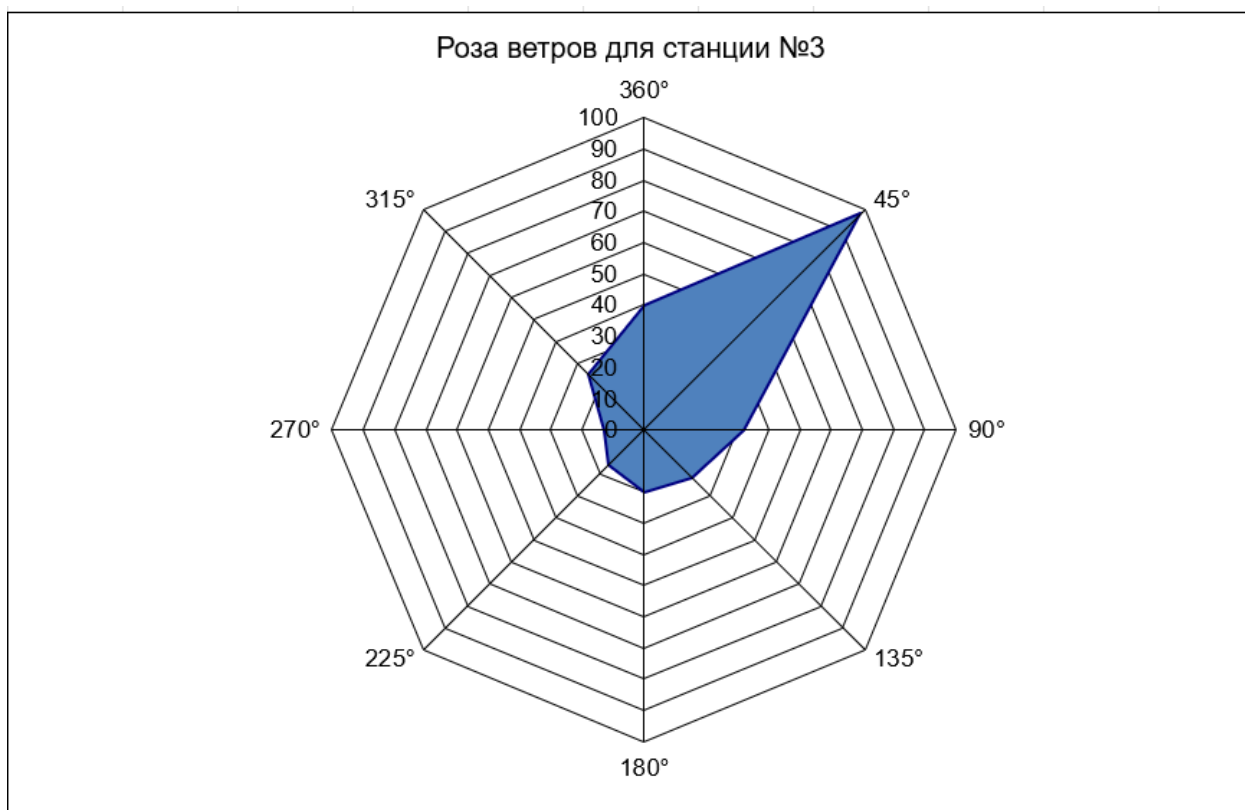


Рисунок 3.9 – Распределение направления ветра на буйковой станции №3

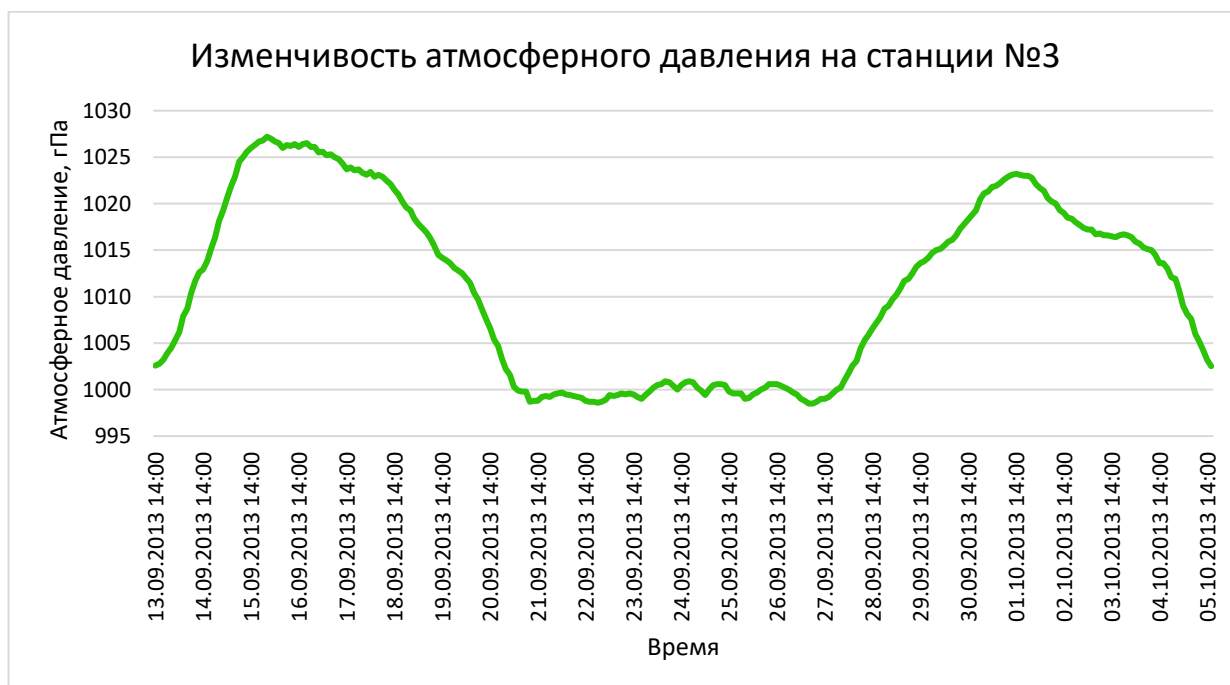


Рисунок 3.10 – Временной ход атмосферного давления по данным буйковой станции №3

Среднее значение атмосферного давления на станции составило 1011 гПа, преобладающим давлением за данный период было 999,6 гПа. Максимальное значение давления достигало 1027,2 гПа 15 сентября 2013 г, большое значение так же наблюдалось 1 октября (1023,2 гПа), минимальное значение равнялось 998,5 гПа и было зафиксировано 27 сентября. Амплитуда давления равна 28,7 гПа.

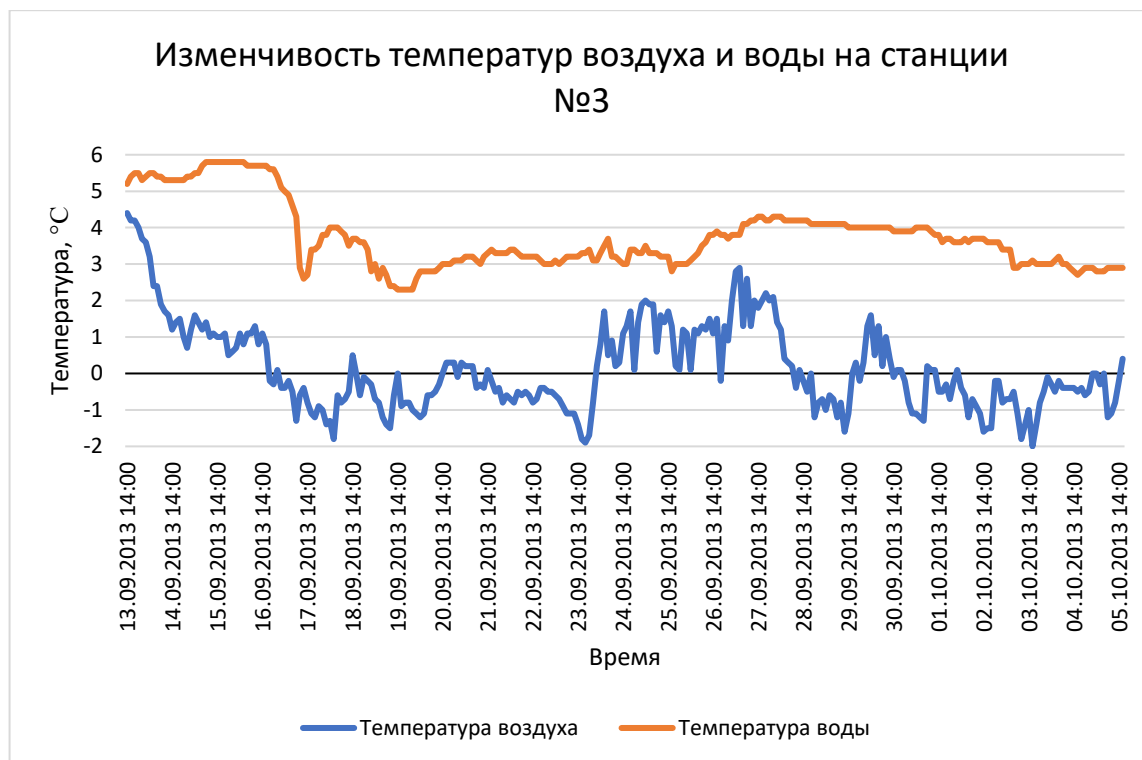


Рисунок 3.11 – Временной ход температуры воздуха и температуры поверхности океана по данным буйковой станции №3

На рисунке 3.11 видно, что температура воздуха ниже температуры поверхности океана на протяжении всего периода времени. Так же, как и для станции №2 это свидетельствует о том, что исследуемому периоду предшествовали высокие температуры воздуха, вследствие чего вода хорошо прогрелась и при понижении температуры воздуха еще не успела остыть. Средняя температура воздуха составила 0,1°C, преобладающим значением за выбранный период измерений было -0,5°C. Максимум наблюдался 13 сентября

и достиг $4,4^{\circ}\text{C}$, минимум же составил -2°C 3 октября. Амплитуда температуры воздуха составила $6,4^{\circ}\text{C}$.

Среднее значение температуры поверхности моря – $3,8^{\circ}\text{C}$. Температура воды за исследуемый период была положительной. Преобладающее значение составило 3°C . Максимум был достигнут 15 и 16 сентября и составил $5,8^{\circ}\text{C}$, минимум – 19 сентября ($2,3^{\circ}\text{C}$). Амплитуда температуры воды равна $3,5^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, самые большие скорости ветра наблюдались на буйковой АМС №3, а самые маленькие – на АМС №1. Изменчивость давления на станциях №2 и №3 имеет большую схожесть, что объясняется тем, что они находятся на достаточно небольшом расстоянии друг от друга; наибольшие значения давления – на станции №2, а наименьшие – на станции №1. Самые низкие температуры воздуха и поверхности океана зафиксированы на станции №1, что связано с расположением в более высоких широтах, а самые высокие температуры – на станции №3.

3.4. Сравнение данных буйковых АМС за 2013 и 2012 гг

Сравним значения параметров буйковой станции №2 за 2013 и 2012 гг. в период с 16 сентября 12 часов по 5 октября 16 часов с шагом измерений в 2 часа.

Средние значения скорости ветра на данной станции за 2012 и 2013 гг (рис. 3.12) схожи – $6,4$ и $6,3$ м/с соответственно, то есть в целом в 2012 году преобладали большие, чем в 2013 году, скорости ветра, однако разница значений небольшая. Также в 2012 году амплитуда скорости ветра была больше, чем в 2013 году.

Наибольшие расхождения наблюдаются в конце первой недели (с 19 по 22 сентября). В 2013 году в этот период скорость ветра на станции заметно возрастала, тогда как в 2012 – заметно понижалась, что безусловно связано с атмосферной циркуляцией. Для подтверждения этого изучим изменчивость атмосферного давления за оба года.



Рисунок 3.12 – Сравнение хода скорости ветра на буйковой станции №2 для 2012 и 2013 гг

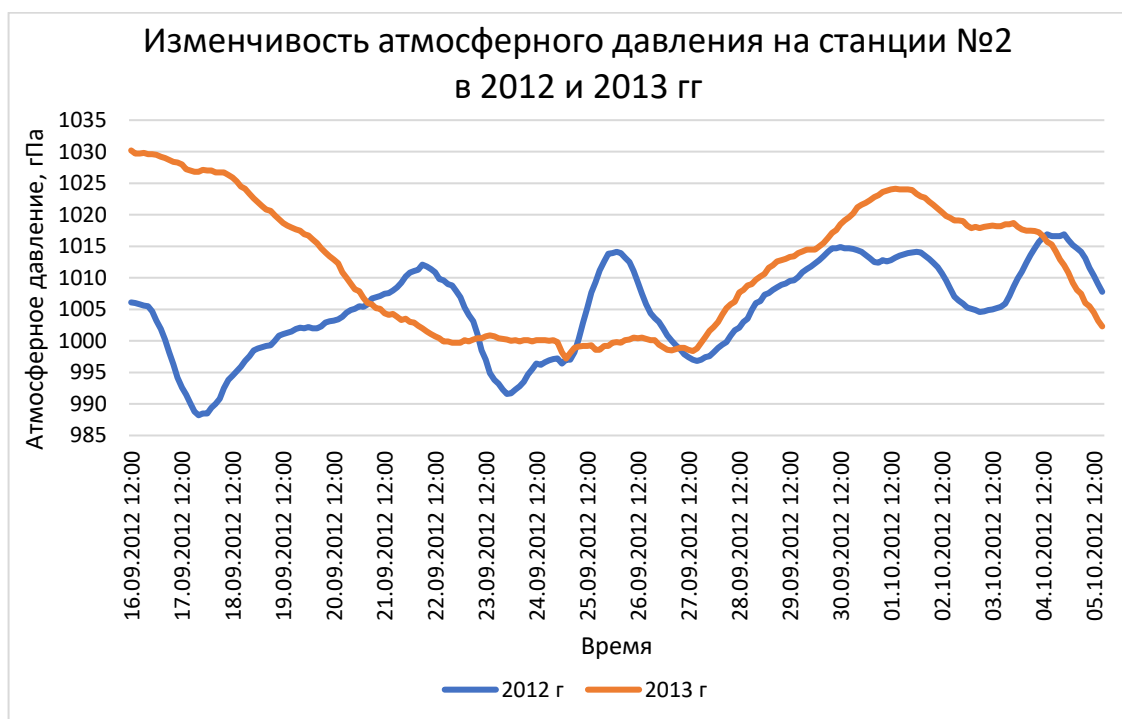


Рисунок 3.13 – Сравнение хода атмосферного давления на буйковой станции №2 для 2012 и 2013 гг

Средние значения давления на данной станции за 2012 и 2013 гг (рис. 3.13) – 1005 и 1011,7 гПа соответственно, то есть в среднем в 2012 году давление было ниже, чем в 2013 году. Также в 2012 году амплитуда давления была меньше, чем в 2013 году. На графике видно, что в 2012 году было больше случаев пониженного давления, однако они были достаточно кратковременными и были связаны, скорее всего, с прохождением атмосферных фронтов, в то время как в 2013 году пониженное давление наблюдалось дольше и было связано непосредственно с прохождением циклона.



Рисунок 3.14 – Сравнение хода температуры воздуха на буйковой станции №2 для 2012 и 2013 гг

На рисунке 3.14 видно, что температура воздуха на станции №2 в 2012 году в целом была выше, чем в 2013 (средние значения за выбранный период составили 0,3 и -0,6°С соответственно). Амплитуда температуры также была больше в 2012 году.

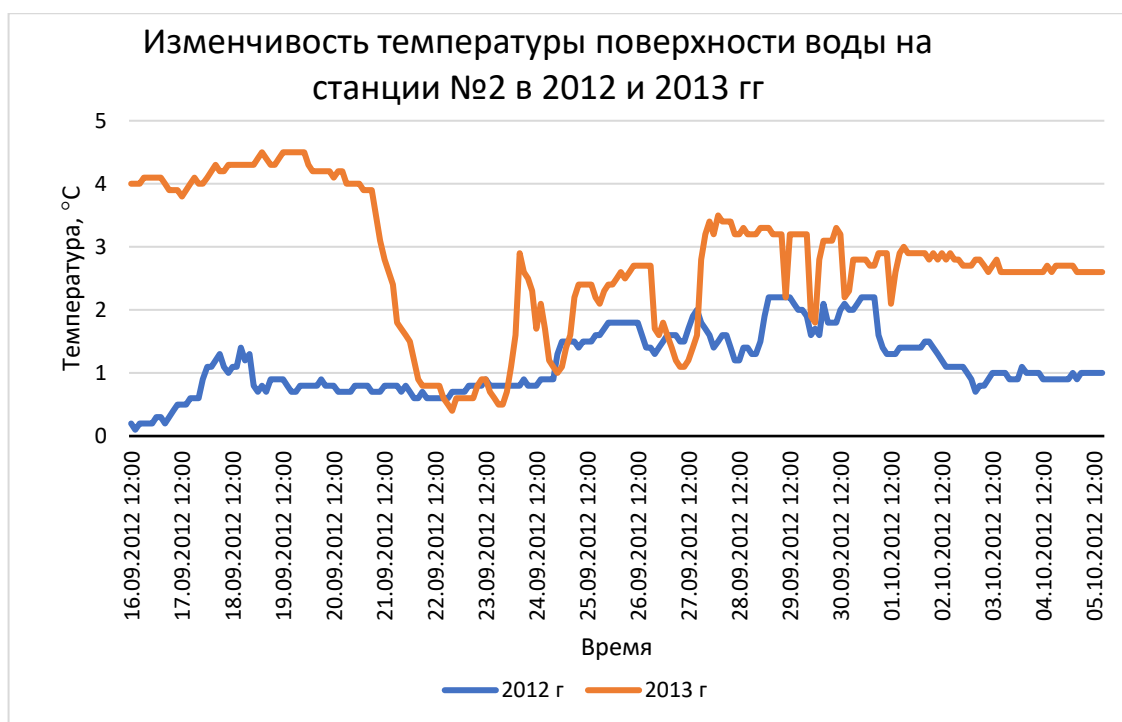


Рисунок 3.15 – Сравнение хода температуры поверхности океана на буйковой станции №2 для 2012 и 2013 гг

На графике (рис. 3.15) видно, что температура поверхности воды на станции №2 за оба года за данный период была положительна. В 2012 году температура была ниже, чем в 2013 году (средние значения 1,1 и 2,8°C). Амплитуда температуры в 2012 году тоже была ниже.

При рассмотрении графиков температуры воздуха (рис. 3.14) и температуры поверхности воды (рис. 3.15) видно, что в 2012 году в предшествующий выбранному временному промежутку период не было такого сильного прогрева, как в 2013 году, поэтому температура поверхности океана в 2012 году достигала меньших максимальных значений.

Теперь сравним значения параметров буйковой станции №3 за 2013 и 2012 гг. за тот же период (с 16 сентября 12 часов по 5 октября 16 часов) с шагом измерений в 2 часа.

На графике 3.16 видно, что в 2012 году преобладали большие, чем в 2013 году, скорости ветра (средние значения равны 7,2 и 6,5 м/с соответственно), а также в 2012 году была больше амплитуда скорости ветра. Характерное

различие значений в конце первой недели (с 19 по 22 сентября) совпадает с данными станции №2.



Рисунок 3.16 – Сравнение хода скорости ветра на буйковой станции №3 для 2012 и 2013 гг

Давление на станции №3 (рис. 3.13) в 2012 году в среднем было ниже, чем в 2013 году (средние значения – 1004,2 и 1010,1 гПа соответственно), амплитуда давления также в 2012 году была меньше, чем в 2013 году. На графике видно, что в 2012 году было больше случаев пониженного давления, однако они были достаточно кратковременными и были связаны, скорее всего, с прохождением атмосферных фронтов, в то время как в 2013 году пониженное давление наблюдалось дольше и было связано непосредственно с прохождением циклона.

На рисунке 3.18 видно, что температура воздуха на станции №3 в 2012 году в целом была выше, чем в 2013 (средние значения за выбранный период составили 1,2 и -0,1°C соответственно). Амплитуда температуры также была больше в 2012 году.

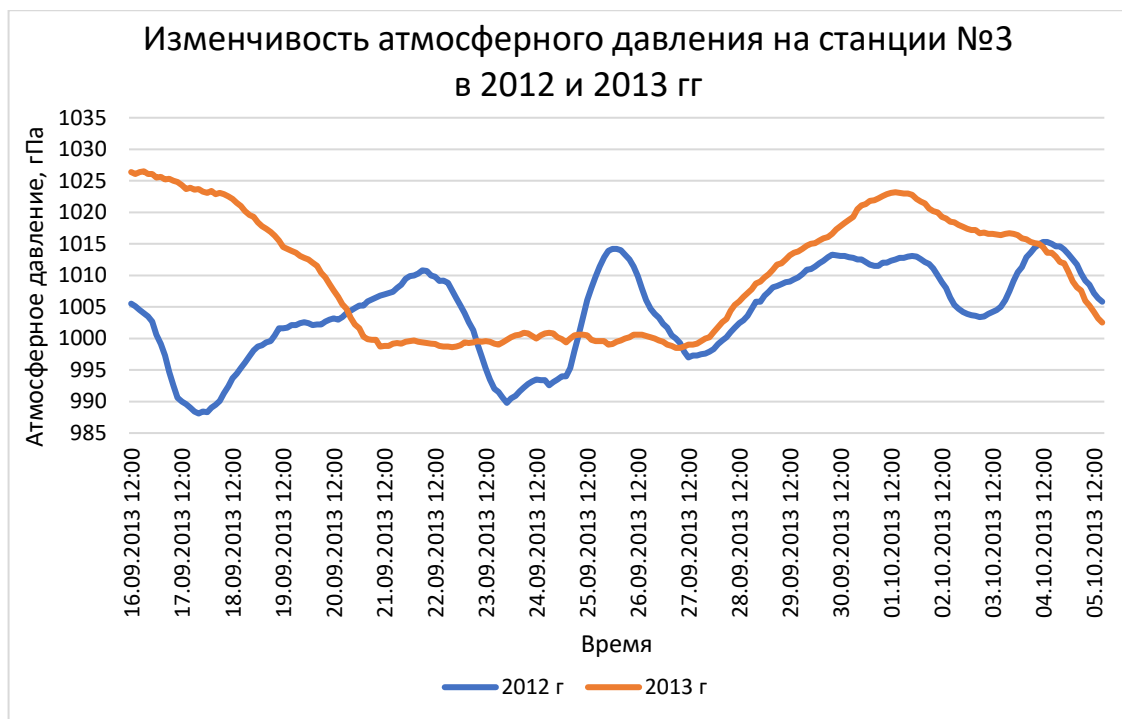


Рисунок 3.17 – Сравнение хода атмосферного давления на буйковой станции №3 для 2012 и 2013 гг

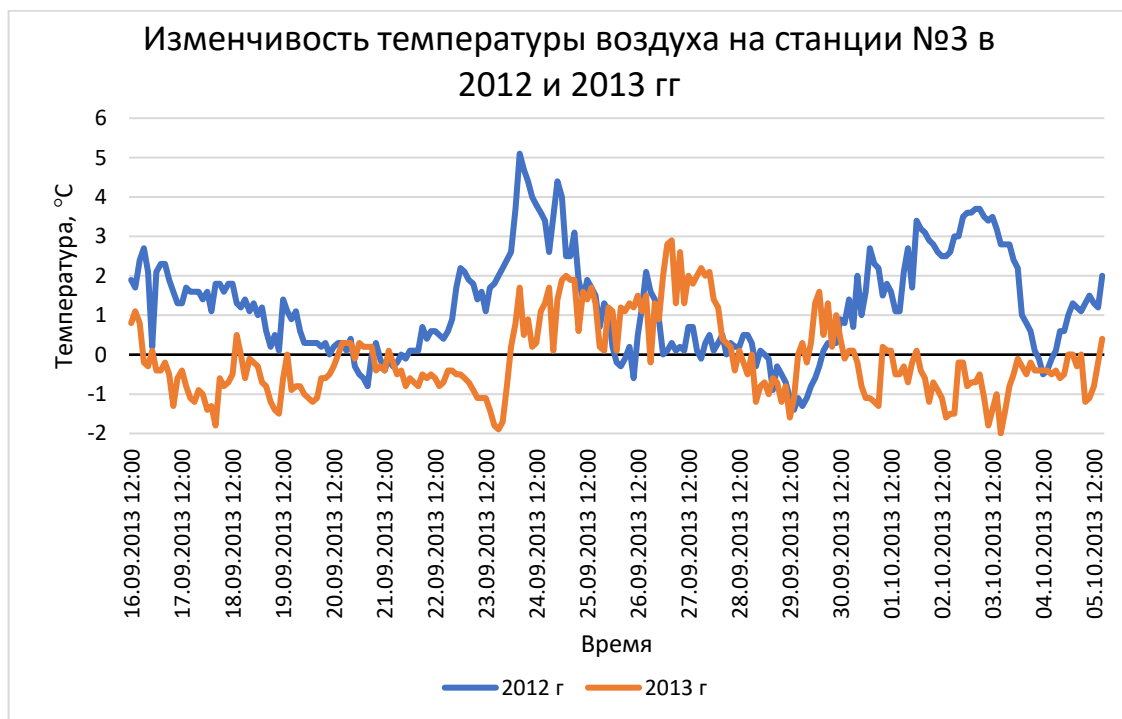


Рисунок 3.18 – Сравнение хода температуры воздуха на буйковой станции №3 для 2012 и 2013 гг

На графике (рис. 3.19) видно, что температура поверхности воды на станции №3 за оба года за данный период была положительна. В 2012 году температура в среднем была ниже, чем в 2013 году, однако средние значения за 2012 и 2013 гг. очень близки (3,4 и 3,5°C соответственно). Амплитуда температуры в 2012 году тоже была немного ниже.

При рассмотрении графиков температуры воздуха (рис. 3.18) и температуры поверхности воды (рис. 3.19) видно, что в 2013 году в предшествующий выбранному временному промежутку период был сильный прогрев воздуха, а в 2012 году – не было, поэтому температура поверхности океана в начале периода в 2013 году достигает больших значений, чем в 2012 году.

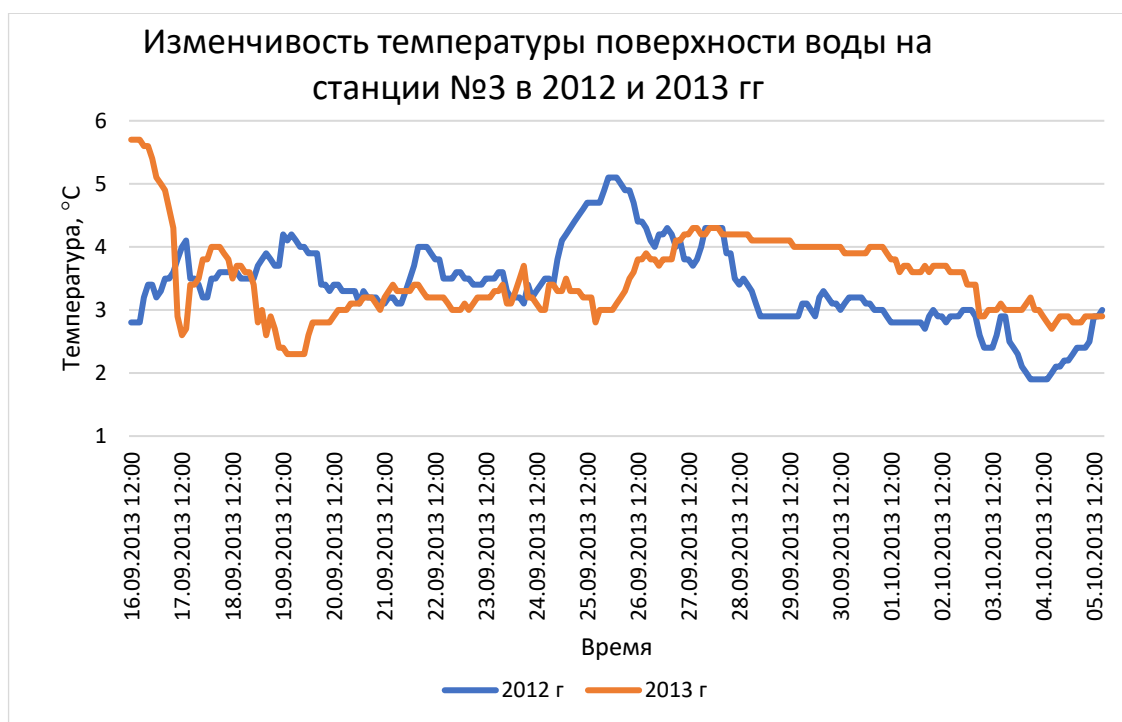


Рисунок 3.19 – Сравнение хода температуры поверхности океана на буйковой станции №3 для 2012 и 2013 гг

Станции №2 и №3 расположены относительно недалеко друг от друга (около 80 км), поэтому временной ход метеорологических параметров на них

достаточно схож. Наибольшая схожесть наблюдается у таких параметров, как скорость ветра и атмосферное давление. Однако есть и различия:

- Скорость ветра в 2012 году была преимущественно выше на станции №3, в 2013 году – также практически весь период на станции №3;
- Давление за оба года было преимущественно выше на станции №2, причем в 2013 году разница между значениями давления на станциях №2 и №3 была больше, чем в 2012 году;
- Температура воздуха в 2012 году была в основном выше на станции №3, в 2013 году – также преимущественно на станции №3 (кроме периодов с 16 по 17 сентября и с 4 по 5 октября);
- Температура поверхности океана в 2012 году была практически весь период выше на станции №3, в 2013 году – также преимущественно на станции №3 (кроме периода с 17 по 21 сентября).

3.5. Анализ корреляционной зависимости

В ходе работы был осуществлен расчет коэффициентов корреляционной зависимости четырех метеорологических параметров (скорость ветра, атмосферное давление, температура воздуха и температура поверхности воды) на трех буйковых автоматических станциях.

Был вычислен коэффициент корреляции ряда каждого метеоэлемента, а также коэффициенты корреляции между значениями метеопараметров на разных буйковых станциях (№1, №2 и №3) и в разные годы (2012 и 2013 гг). Полученные значения приведены в таблице 3.1.

Для оценки силы связи используем шкалу Чеддока (табл. 3.2). Таким образом, связь между рядами значений каждого из метеопараметров на станции №1 прямая весьма сильная, на станциях №2 и №3 – прямая от сильной до весьма сильной.

Таблица 3.1.

Коэффициенты корреляции метеопараметров

Станция №1 (48211), 2013 г					
	по ряду	с 2012 годом	с другими буями		
			№1 (48211)	№2 (48213)	№3 (48214)
Скорость ветра	0,91	-	-	-0,15	0,15
Давление	1,00	-	-	0,77	0,84
Температура воздуха	0,92	-	-	0,31	0,38
Температура воды	0,93	-	-	0,15	0,49
Станция №2 (48213), 2013 г					
	по ряду	с 2012 годом	с другими буями		
			№1 (48211)	№2 (48213)	№3 (48214)
Скорость ветра	0,89	-0,10	-0,15	-	0,61
Давление	1,00	0,04	0,77	-	0,99
Температура воздуха	0,86	0,28	0,31	-	0,63
Температура воды	0,97	-0,10	0,15	-	0,35
Станция №3 (48214), 2013 г					
	по ряду	с 2012 годом	с другими буями		
			№1 (48211)	№2 (48213)	№3 (48214)
Скорость ветра	0,89	-0,12	0,15	0,61	-
Давление	1,00	0,07	0,84	0,99	-
Температура воздуха	0,90	0,04	0,38	0,63	-
Температура воды	0,99	-0,15	0,49	0,35	-

Шкала Чеддока для оценки силы связи

Количественная мера силы связи по модулю	Качественная характеристика силы связи
0,0 - 0,1	Практически отсутствует
0,1 - 0,3	Слабая
0,3 - 0,5	Умеренная
0,5 - 0,7	Заметная
0,7 - 0,9	Высокая
0,9 – 1,0	Весьма высокая

При выявлении силы связи между параметрами на разных станциях можно сделать несколько выводов:

- 1) Самую сильную связь имеет давление – между давлением на станции №1 и двумя оставшимися связь прямая высокая, а между давлением на станциях №2 и №3 связь прямая весьма высокая;
- 2) Самая слабая связь у скорости ветра между станцией №1 и №2 (обратная слабая) и №1 и №3 (прямая слабая), однако между станциями №2 и №3 сила связи значений скорости ветра прямая заметная;
- 3) Связь между значениями температуры воздуха на станциях №1 и №2, как и на станциях №1 и №3, прямая умеренная, а на станциях №2 и №3 – прямая заметная;
- 4) Связь температуры воды между станциями №1 и №2 прямая слабая, а между станциями №1 и №3, а также №2 и №3 – прямая умеренная, причем связь сильнее между станциями №1 и №3.

Заключение

В данной работе были рассмотрены особенности основных типов буйковых станций, а также некоторые модели используемых на буйковых АМС датчиков.

Для достижения поставленной цели были выбраны 3 буйковых автоматических станции, расположенных к северу (станция №1) и к востоку (станции №2 и №3) от побережья полуострова Аляска, сформированы архивы данных метеорологических параметров (скорость и направление ветра, атмосферное давление, температура воздуха и поверхности воды), и на их основе построены графики и розы ветров.

При анализе изменчивости метеопараметров было выявлено, что за выбранный период самые большие скорости ветра и температуры воздуха и воды наблюдались на буйковой АМС №3, а самые маленькие – на АМС №1; наибольшие значения давления – на станции №2, а наименьшие – на станции №1. На станциях №2 и №3 преобладали ветры северо-восточных направлений.

Также было проведено сравнение метеопараметров на станциях №2 и №3 за одинаковый период, но за разные годы (2012 и 2013), в ходе которого оказалось, что и в 2012, и в 2013 годах скорость ветра и температура воздуха и воды были выше на станции №3, а давление – на станции №2.

При определении силы связи между параметрами на разных станциях был сделан вывод о том, что самую сильную связь имеет давление, а самую слабую – скорость ветра и температура поверхности воды.

Цель работы выполнена, задачи успешно решены.

Список использованных источников

1. Автоматические метеорологические станции: в 2 т. / К.Л. Восканян, А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова. — Ч. (К.Л. Восканян) 1. Тактико-технические характеристики: учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 170 с.
2. Океанографические буи / Г.О. Берто (H.O. Berteaux). Перевод с англ. Г.П. Лисова. — Ленинград: Судостроение, 1979. — 215 с. — (Серия «Техника освоения океана»).
3. National Data Buoy Center [Электронный ресурс] URL: <https://www.ndbc.noaa.gov>. Дата обращения: 17.08.2024.
4. Vaisala [Электронный ресурс] URL: <https://www.vaisala.com>. Дата обращения: 19.04.2025.
5. Rotronic Measurement Solutions [Электронный ресурс] URL: <https://www.rotronic.com>. Дата обращения: 19.04.2025.
6. SeaBird Scientific [Электронный ресурс] URL: <https://www.seabird.com>. Дата обращения: 19.04.2025.
7. Gill Instruments: Trusted Globally In Meteorological Sensing [Электронный ресурс] URL: <https://www.gillinstruments.com>. Дата обращения: 19.04.2025.
8. R. M. Young Company [Электронный ресурс] URL: <https://www.youngusa.com>. Дата обращения: 19.04.2025.
9. Beaufort Sea — статья из Британской энциклопедии (англ.).
10. Бофорта море // Большой Кавказ — Великий канал. — М. : Большая российская энциклопедия, 2006. — С. 104—105. — (Большая российская энциклопедия : [в 35 т.] / гл. ред. Ю. С. Осипов ; 2004—2017, т. 4). — ISBN 5-85270-333-8.
11. Чукотское море. Географический справочник. Дата обращения: 2 февраля 2025.

12. Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР / проф. А. И. Симонов. — МГУ. — М.: МГУ, 1982. — С. 101—107. — 190 с.