



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

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему «Метеорологическое обеспечение судоходства»

Исполнитель **Хабибуллин Евгений Рафаильевич**
(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)

« 02 » июня 2026 г.

Санкт-Петербург
2026

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	2
1. МОРСКОЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ	5
1.1 Дальность видимости и осадки	6
1.2 Волны и ветра	7
1.3 Обледенение, морские льды и айсберги	8
1.4 Надводные районы мира (NAVAREA)	10
2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МОРСКОЙ НАВИГАЦИИ	13
2.1 Судовое метеорологическое оборудование и метеорологические наблюдения	13
2.2. Буйковые метеостанции	17
3. МОНИТОРИНГ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МОРСКИХ СУДОВ	26
3.1. Общая характеристика исследуемого региона, метеорологических станций и характеристика буйковой АМС	26
4 АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА МЕТЕОСТАНЦИЯХ	34
4.1. Анализ метеорологических параметров на буйковой метеостанции 46070	34
4.1.1 Ветровой режим	34
4.1.2 Атмосферное давление и циклоническая активность	43
4.1.3 Термический режим	51
4.2. Анализ метеорологических параметров на метеостанции Озерная (32594)	56
4.2.1 Термический режим	56
4.2.2 Атмосферное давление и циклоническая активность	58
4.2.3 Ветровой режим	61
4.3. Анализ метеорологических параметров на метеостанции Лопатка (32213)	68
4.3.1 Термический режим	68
4.3.2 Атмосферное давление и циклоническая активность	70
4.3.3 Ветровой режим	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	88
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	93

Введение

Гидрометеорологическое обеспечение — это неотъемлемая и критически важная составляющая безопасности и эффективности любого мореплавания и морской деятельности. Оно охватывает комплекс мероприятий и действий, выполняемых профильными службами и судовыми командами, для оценки актуальной гидрометеорологической обстановки, её прогноза, выработки рекомендаций по адаптации к её влиянию, а также экстренного оповещения капитанов и судовладельческих структур.

Эффективное использование достоверных данных о текущих и прогнозируемых метеорологических и гидрологических условиях способно повысить безопасность мореплавания на 20–30%, оптимизировать маршруты для экономии топлива и времени, а также обеспечить сохранность грузов и судов в сложных погодных условиях.

Становление теоретической базы и практических методов гидрометеорологического обеспечения морских операций происходило благодаря объединённым усилиям научно-исследовательских институтов, гидрографических подразделений и морских вузов. К восьмидесятым годам XX века сложились основные принципы и стандарты, которые закрепились в нормативных документах по обучению кадров для морского флота.

Наиболее значимыми для практического судоходства оказались следующие направления научных исследований:

- Разработка методологии, методов и средств гидрометеорологического обеспечения.

- Изучение Мирового океана и морей, методическое обеспечение экспедиционных и экспериментальных исследований.

- Разработка судовых гидрометеорологических приборов, технических средств исследования океана и систем сбора метеоданных.

Первое из этих направлений включает в себя ряд ключевых научных задач:

—Оценка эффективности гидрометеорологического обеспечения.

—Изучение влияния гидрометеофакторов на работу судового оборудования и средств навигации.

—Разработка методов интеграции метеоданных в системы управления судном и планирования рейсов.

—Автоматизация процессов сбора и обработки гидрометеорологической информации.

—Оптимизация структуры глобальных и локальных систем метеообеспечения.

Сегодня научные гидрометеорологические исследования продолжаются в рамках профильных институтов, фокусируясь на потребностях современного флота.

На начальном этапе исследования в значительной степени базировались на наработках гражданской гидрометеорологии, сосредотачиваясь на разработке универсальных справочных материалов (атласов, лоций). В дальнейшем приоритет переместился в сторону практических задач, непосредственно относящихся к судоходству.

Начиная с середины XX века велись активные исследования воздействия погодных факторов на функционирование радиолокационных и навигационных систем, за что были вручены государственные награды. Также выполнялись широкомасштабные работы по изучению влияния морских течений на прокладку курса судна, а также условий распространения радиоволн и акустических сигналов.

Важным итогом стала систематизация знаний в специализированных справочниках по влиянию погодных условий на технику и деятельность в море.

С шестидесятых годов XX века велась разработка методологии количественного использования гидрометеорологических данных для обоснования решений на судовом мостике. А к 1970-м годам были созданы предпосылки для автоматизации этого процесса.

Одновременно шла разработка комплексных систем наблюдения с применением спутниковой информации, автономных буёв и передовых средств связи. Это создало фундамент для нынешних метеонавигационных систем.

В 1970–1990-е годы были разработаны и внедрены различные поколения судовых метеостанций (КМС), термозондов, портативных станций и плавучих автоматических буёв (ПАГМС). Также был создан экспериментальный образец судового приёмника спутниковых данных, что стало предтечей современных систем.

За десятилетия деятельности научные гидрометеорологические подразделения:

- Определили ключевые направления прикладных исследований для нужд мореплавания.

- Разработали методы интеграции объективных погодных данных в процессы управления судном и планирования операций.

- Установили практические зависимости между условиями окружающей среды и работой судового оборудования.

- Усовершенствовали технологии сбора и автоматической обработки гидрометеоинформации, значительно повысив её оперативность и достоверность.

Таким образом, сложилась надёжная научно-техническая база для гидрометеорологического обеспечения, которая сегодня гарантирует безопасность судоходства, экономическую эффективность морских перевозок и результативность любой деятельности в водах Мирового океана.

1. Морское метеорологическое обслуживание

Морское метеорологическое обслуживание выполняет две ключевые функции:

- 1) поддержку международного судоходства, рыболовства и других видов морской деятельности;
- 2) обеспечение безопасности и эффективности работ на побережье, в прибрежных зонах и в открытом море.

Для составления анализов, обзоров, предупреждений и прогнозов требуются свежие данные о состоянии океана, атмосферы и климата в заданном районе. Эти же сведения лежат в основе предсказания таких опасных явлений, как штормовые нагоны, морское волнение, обледенение и дрейфующие льды.

Учитывая высокую потребность в данных, важнейшими элементами морской метеорологической программы являются:

- добровольные наблюдения с судов,
- обучение берегового и судового персонала,
- сбор, обработка и архивирование наблюдений,
- развитие морских систем связи.

Эти меры позволяют в полной мере реализовать обе функции обслуживания.

Кроме того, необходима система регулярного мониторинга всех компонентов программы для оценки их соответствия запросам пользователей.

Морские операции сильно зависят от условий окружающей среды. Опасные значения ветра, волнения и видимости увеличивают угрозу для судов и морских конструкций, а даже незначительные отклонения от нормы способны снизить производительность работ. Следовательно, ценность прогноза или предупреждения зависит не только от их точности и своевременности, но и от того, насколько оперативно пользователи могут отреагировать на полученную информацию.

Далее рассмотрим конкретные метеорологические явления и их влияние на различные группы пользователей морских прогнозов.

1.1 Дальность видимости и осадки

Плохая видимость (рис. 1.1) представляет значительную угрозу для судоходства, поскольку повышает вероятность столкновений как в открытом море, так и при маневрировании вблизи портов.

Важно учитывать, что суда не могут экстренно затормозить – даже использование заднего хода не обеспечивает быстрой остановки, особенно в условиях ограниченной видимости.

В целях повышения безопасности современные суда оснащаются автоматическими идентификационными системами (АИС) в соответствии с международными стандартами судового слежения. Данное оборудование подлежит обязательной сертификации и должно устанавливаться с соблюдением норм, установленных уполномоченными органами.



Рисунок 1.1 – Затруднительная видимость в условиях тумана

Однако, несмотря на обязательное оснащение судов АИС, человеческий фактор остаётся критически важным при плохой видимости. Согласно требованиям, оповещение о снижении видимости обязательно в районах, где она составляет менее 6 морских миль (10 км).

Информацию о надвигающемся ухудшении видимости желательно получать не позднее чем за 6 часов до его начала. И хотя из-за дефицита данных точные прогнозы удаются не всегда, даже приблизительные сведения о текущих и ожидаемых зонах пониженной видимости позволяют судам, идущим в этих направлениях, изменить курс или заблаговременно подготовиться к тяжёлым условиям.

Осадки также значительно снижают видимость, при этом интенсивные снегопады и ливни не только усложняют навигацию, но и могут привести к повреждению грузов и образованию опасного обледенения на судах.

1.2 Волны и ветра

Для принятия обоснованных навигационных решений капитану необходимо регулярно получать актуальные данные о ветре и волнении на маршруте следования. Это позволяет:

- выбирать наиболее безопасный курс;
- заранее подготовиться к ухудшению погодных условий;
- точно прогнозировать время прибытия в пункт назначения.

Особую опасность представляют экстремальные погодные условия.

При штормовой погоде (скорость ветра более 25 м/с, высота волн свыше 10 метров) суда сталкиваются с:

- потерей управляемости;
- снижением скорости;
- ухудшением остойчивости.

Метеорологические службы разрабатывают специальные рекомендации по выходу из зоны шторма, которые особенно важны для маломерных судов, наиболее уязвимых в таких условиях

Критические параметры для судов разного класса:

Для маломерного флота	Для всех типов судов
-опасность возникает уже при ветре 4-5 баллов;	-ветер свыше 10 баллов (28 м/с) создает угрозу: -повышенного расхода топлива; -значительного увеличения продолжительности рейса; -опасности срыва с якорной стоянки.
-при 8-9 баллов (25 м/с) возможна полная потеря управления;	
-обязательна постановка на защищенный рейд.	

Своевременное получение метеопредупреждений позволяет судоводителям избежать попадания в опасные метеоусловия, минимизируя риски для судна и экипажа.

1.3 Обледенение, морские льды и айсберги

Образование льда (рис. 1.2) может создавать значительные риски для безопасности судна — как для палубного оборудования, так и для надстроек. Например, обледенение антенн способно нарушить работу радиосвязи и радиолокационных систем, а накопление льда на малых судах снижает их остойчивость и высоту надводного борта. Чтобы минимизировать последствия, необходимо заранее выпускать предупреждения, включая в них расчёты скорости обледенения.



Рисунок 1.2 – Обледенение на судне

Морские льды также опасны для судоходства любого типа. Для безопасного плавания важно своевременно оценивать динамику их движения и распределение. Помимо стандартных метеосводок, необходимы специализированные карты, анализирующие и прогнозирующие ледовую обстановку.

Айсберги, как и морские льды, несут серьезную угрозу для судоходства. Для безопасного плавания крайне важно отслеживать их местоположение, размеры, скорость и направление движения. Своевременное получение такой информации позволяет эффективно планировать маршруты и избегать опасных ситуаций.

1.4 Надводные районы мира (NAVAREA)

Всемирная Метеорологическая Организация и национальные гидрометслужбы обеспечивают координаторов районов метеорологической информацией (рис 1.3).



Рисунок 1.3 – Надводные районы

NAVAREAs, также называемые навигационными районами, являются морскими географическими областями, где конкретные государства отвечают за распространение навигационных предупреждений.

Аналогичная система используется для передачи погодных предупреждений с помощью METAREAs.

Список районов NAVAREA и их координаторы указаны в таблице 1.1

Таблица 1.1

Список районов NAVAREA и их координаторы

NAVAREA	Регион покрытия	Координатор
NAVAREA I	Северо-Восточная Атлантика	Великобритания
NAVAREA II	Восточная часть Северной Атлантики	Франция
NAVAREA III	Средиземное море, Чёрное море	Испания
NAVAREA IV	Южная Атлантика	Бразилия
NAVAREA V	Юго-Западная Атлантика	Аргентина
NAVAREA VI	Великие озёра, Карибское море	США
NAVAREA VII	Восточная часть Тихого океана	США
NAVAREA VIII	Западная часть Тихого океана	Япония
NAVAREA IX	Бенгальский залив, Аравийское море	Индия
NAVAREA X	Северная часть Индийского океана	Австралия
NAVAREA XI	Южная часть Индийского океана	Австралия
NAVAREA XII	Южная часть Тихого океана	Новая Зеландия
NAVAREA XIII	Северная часть Тихого океана	Россия
NAVAREA XIV	Антарктика	Аргентина
NAVAREA XV	Северный Ледовитый океан	Канада
NAVAREA XVI	Балтийское море	Швеция

Основные функции NAVAREA:

-Распространение навигационных предупреждений (NAVTEX, SafetyNet) – информация об опасностях (рифы, айсберги, военные учения и т. д.).

-Гидрографические и метеорологические данные – штормовые предупреждения, изменения в навигационных картах.

-Координация поисково-спасательных операций (SAR) – взаимодействие с береговыми службами.

Как используются районы NAVAREA?

-Морские суда получают автоматические оповещения через спутниковые системы (Inmarsat, Iridium) и NAVTEX.

-Картографические службы обновляют морские карты на основе данных NAVAREA.

-Спасательные центры (MRCC) используют эти зоны для координации операций.

2. Метеорологическое оборудование для морской навигации

2.1 Судовое метеорологическое оборудование и метеорологические наблюдения

Гидрометеорологические наблюдения с судов служат важным дополнением к данным, получаемым с наземных станций и спутников. Как правило, такие наблюдения проводятся на добровольной основе судами всех типов, оснащёнными необходимыми приборами и средствами связи, а также имеющими условия для их эксплуатации.

На крупных судах, следующих в океанах и морях, развёртываются судовые гидрометеопосты (СГМС). Их функционирование производится с одобрения капитана, штурманов и радиоспециалистов. Судно проводит попутные наблюдения по схеме, разработанной портовым метеорологом, и отправляет сведения в береговые радиопункты.

Капитан отвечает за организацию работы СГМС, а вахтенный штурман проводит наблюдения. По решению капитана эту задачу может выполнять другой член экипажа, но контроль за своевременностью и точностью данных лежит на штурмане (обычно третьем помощнике капитана).

Наблюдения проводятся четыре раза в сутки (00:00, 06:00, 12:00, 18:00 по ВСВ) во время плавания за пределами портовых акваторий. Первое наблюдение выполняется ближайшему сроку после выхода из порта, а последнее — перед заходом в акваторию порта назначения.

Явления фиксируются с момента их выявления и до завершения. Наблюдения не производятся в сложных навигационных условиях, во время швартовки у причалов, при коротких рейсах (менее 4 часов) и при прохождении стеснённых районов.

Наблюдения производятся за следующими метеорологическими величинами:

- облачность,
- МДВ (метеорологическая дальность видимости),
- скорость и направление ветра,
- температура воздуха и поверхности воды,
- атмосферное давление,
- характеристика и значение барической тенденции,
- направление перемещение зыби,
- период и высота ветровых волн и зыби,
- гидрометеорологические явления,
- обледенение и морские льды.

Метеорологические приборы и способы измерений, применяемые для наблюдений за указанными параметрами и явлениями, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Перечень основных метеорологических элементов и наименование приборов,
с помощью которых они измеряются

Измеряемый элемент	Приборы/методы измерения
Температура воздуха и воды	Термометры, термографы, психрометры
Влажность воздуха	Гигрометры, гигрографы, психрометры
Атмосферное давление	Барометры, барографы
Скорость и направление ветра	Анеморумбометры, анемометры, флюгеры, анеморумбографы
Количество и интенсивность осадков	Осадкомеры, плювиографы
Дальность видимости	Измерители и регистраторы МДВ
Количество и форма облаков	Визуально, метеоспутники, радиолокаторы
Высота НГО	Измерители и регистраторы высоты облачности, шары-пилоты
Туман	Визуально
Грозы	Грозорегистраторы, грозопеленгаторы

В настоящее время на большинстве судов используются компактные метеостанции, позволяющие одновременно регистрировать широкий набор погодных параметров.

В качестве примера рассмотрим судовую метеостанцию «Перископ» (рис.2.1).



Рисунок 2.1 – АМС «Перископ»

В таблице 2.2 приведены измеряемые параметры и данные, которые отображаются.

Таблица 2.2

Измеряемые отображаемые метеопараметры

Параметр	Значение
Измеряемые параметры атмосферы (окружающей среды)	• температура окружающей среды • относительная влажность • атмосферное давление • скорость ветра • направление ветра • количество атмосферных осадков • интенсивность атмосферных осадков Количество измеряемых параметров зависит от типа метеодатчика.
Прием информации от внешних устройств (NMEA данные по стандарту IEC 61162-1, IEC 61162-2)	• курс судна (от гирокомпаса или GPS) • скорость судна (от лага или GPS) • температура воды (от мультисенсора)
Отображаемая информация	• температура воздуха • температура воды • атмосферное давление и барическая тенденция • скорость и направление ветра (абсолютные, истинные и кажущиеся) • влажность воздуха • количество и интенсивность осадков

Метеостанция «Перископ» соответствует требованиям государственных стандартов.

АМС «Перископ» оснащена специализированным программным обеспечением, которое обрабатывает и наглядно отображает метеорологические данные (рис. 2.2). Система поддерживает несколько форматов представления информации:

- аналоговый вид (рис. 2.2,а)
- цифровой формат (рис. 2.2,б)
- графическое отображение (рис. 2.2,в)
- табличное представление (рис. 2.2,г)



а)

б)



в)

г)

Рисунок 2.2 –Режимы представления данных АМС «Перескоп»

2.2. Буйковые метеостанции

Буйковые метеостанции представляют собой плавучие или прибрежные платформы (рис.2.3), оборудованные различными датчиками для измерения метеорологических показателей. Большинство таких станций способны передавать данные в режиме реального времени, включая скорость и направление ветра, температуру воздуха и воды, а также атмосферное давление. (рис.2.4).

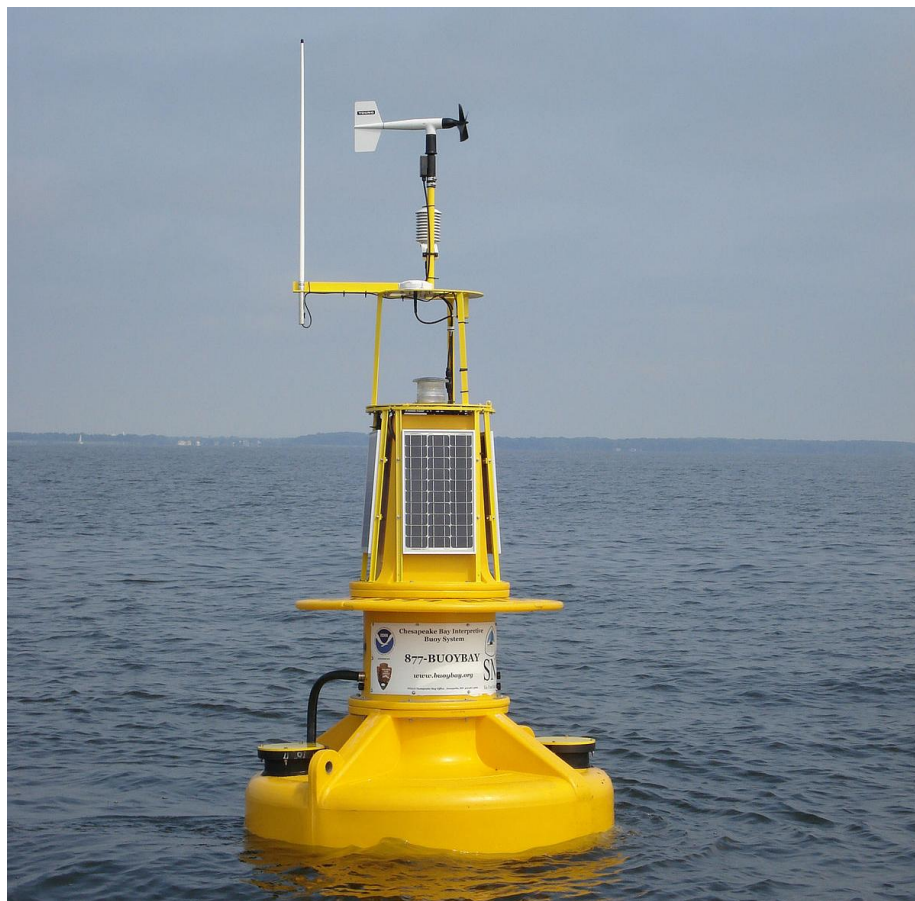


Рисунок 2.3 – Внешний вид буйковой метеостанции.

Преимущества буйковых станций:

— Передача данных в реальном времени;

- Автономная работа за счёт солнечных батарей или других источников энергии;
- Устойчивость к внешним воздействиям (волнам, коррозии);

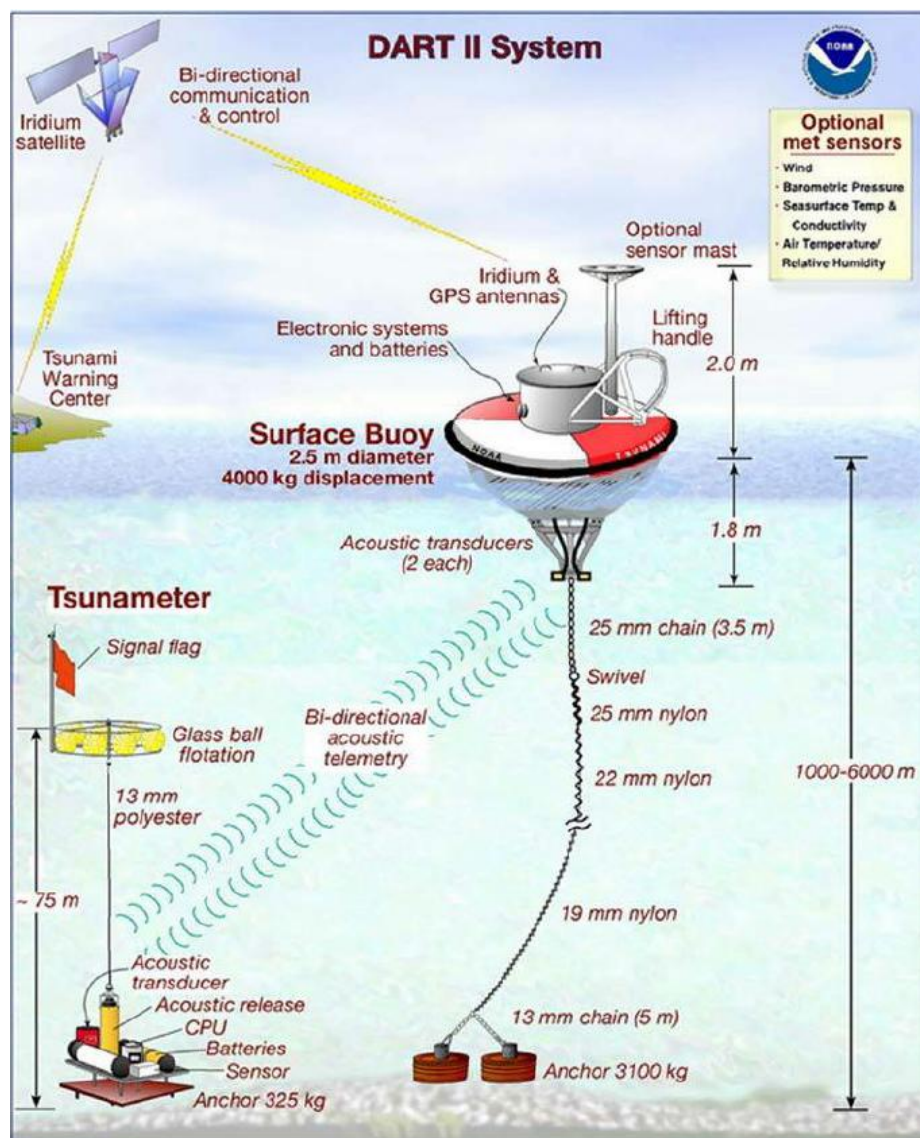


Рисунок 2.4 – Схема устройства буйковой метеостанции и принцип её работы

Автоматические буйковые метеостанции (АМС) занимают особое место в глобальной системе мониторинга Мирового океана, компенсируя острую нехватку данных с обширных морских пространств, где невозможно вести регулярные наблюдения с судов или береговых постов. Метеорологический

буй — это автономный измерительный комплекс для долговременного сбора оперативной информации о метеорологических и океанографических параметрах в точке своей установки. Фактически буи пришли на смену сети метеорологических судов, которая выполняла эту роль с 1940-х по 1970-е годы. С сокращением программ судов погоды именно буи стали главным источником регулярных данных из открытого океана.

По точности измерений буи превосходят судовые наблюдения, так как на них отсутствуют искажения от корпуса и движения крупного судна. Ветровые данные с буёв отличаются меньшей погрешностью по сравнению с судовыми. Также наблюдаются расхождения в измерениях температуры поверхности моря (ТПМ) между двумя типами платформ из-за разной глубины отбора проб и нагрева воды корпусом корабля. Эти сведения применяются во многих областях, включая повышение качества и точности прогнозов как штормовой, так и рядовой погоды, улучшение моделей прибрежной океанической циркуляции, мониторинг и исследования морской среды и экосистем, а также расширение возможностей предупреждения о цунами.

В основе современной системы гидрометеонаблюдений в океане лежат три опорных элемента: судовые измерения, спутниковый мониторинг и буйковые станции. Спутники обеспечивают глобальное покрытие, но их данные нуждаются в калибровке и проверке через контактные замеры; суда дают наблюдения вдоль судоходных трасс; и лишь буи предоставляют непрерывные ряды прямых измерений в фиксированных точках или на заданных полигонах, что делает их незаменимым звеном наблюдательной сети.

Первое известное предложение о проведении приземных метеорологических наблюдений в море появилось в связи с развитием авиации в августе 1927 года, когда Гровер Лёнинг заявил, что «метеостанции вдоль океана в сочетании с разработкой гидросамолёта... приведут к регулярным океанским полётам в течение десяти лет». Начиная с 1939 года суда Береговой охраны США использовались в качестве метеорологических судов для

обеспечения безопасности трансатлантических авиаперевозок. Во время Второй мировой войны германский флот развернул метеорологические буи (Wetterfunkgerät See, WFS) на пятнадцати фиксированных позициях в Северной Атлантике и Баренцевом море. Эти буи запускались с подводных лодок на глубину до 1000 морских саженей (около 1800 метров), а общая высота корпуса составляла 10,5 метра, из которых большая часть находилась под водой.

В послевоенный период развитие буйковых наблюдений велось в двух направлениях. Заякоренные буи стали применять с 1951 года, но настоящий расцвет этого направления наступил в 1970-е, когда сокращение флота метеорологических судов вынудило искать иные способы сбора данных в открытом океане. Дрейфующие буи начали использовать позднее — с 1979 года. В настоящее время именно дрейфующие буи преобладают по общему числу: в мире их насчитывается свыше 1250 единиц.

В 1980-х и 1990-х годах сеть буёв в центральной и восточной частях тропической зоны Тихого океана сыграла ключевую роль в изучении явления Эль-Ниньо — Южного колебания, продемонстрировав, что буйковые измерения могут быть эффективны не только для оперативной метеорологии, но и для фундаментальных климатических исследований.

Современные метеорологические буи подразделяются на два основных класса: заякоренные (стационарные) и дрейфующие (свободно плавающие). Каждый из них имеет свои конструктивные особенности, преимущества и ограничения.

Заякоренные буи служат для длительного получения данных в одной неизменной точке океана. Их фиксация на месте осуществляется посредством якорной системы, которая соединяет буй с морским дном с помощью цепей, нейлоновых канатов или плавучего полипропиленового фала. Диаметр стационарных метеобуев составляет от 1,5 до 12 метров, что даёт им достаточную устойчивость даже при сильном волнении и позволяет устанавливать внушительный комплекс измерительной аппаратуры.

Обычно корпус заякоренного буя окрашивают в ярко-оранжевый тон для улучшения визуального обнаружения, а также снабжают световой сигнализацией для работы в ночное время. Устройство буя состоит из надводной части (платформы с датчиками, мачтой, антеннами и солнечными батареями) и подводной части — якорного механизма, который может иметь разное исполнение в зависимости от глубины установки, силы течений и высоты волн в данном районе.

Энергоснабжение заякоренного буя обеспечивается комбинацией солнечных батарей и аккумуляторов, что гарантирует автономность работы в течение всего периода между сервисными обслуживаниями. Многие современные модели спроектированы для максимально низкого потребления энергии, что позволяет продлить срок их службы в удалённых районах океана.

Основное преимущество заякоренных буёв — возможность получения непрерывных рядов наблюдений в одной точке, что необходимо как для климатических обобщений, так и для оперативного обнаружения опасных явлений.

Дрейфующие буи заметно уступают по размерам заякоренным — их обычный диаметр находится в пределах 30–40 сантиметров. Они движутся вместе с поверхностными течениями, покрывая обширные пространства Мирового океана. По конструкции дрейфующий буй включает компактный полимерный корпус с закреплённым под ним «подводным парусом» — специальным устройством, напоминающим рваную ткань, которое заставляет буй смещаться в основном под влиянием течений, а не ветра. Внутри корпуса размещены измерительные приборы, а также системы спутниковой связи и GPS-навигации, при этом питание осуществляется от аккумуляторных батарей.

Дрейфующие буи развёртываются как с судов, так и с самолётов (на парашютах). Срок их автономной работы обычно меньше, чем у заякоренных собратьев, однако их главное преимущество — способность собирать данные из тех районов океана, где установка стационарного буя технически

невозможна или экономически нецелесообразна. Дрейфующие буи являются доминирующей формой метеорологических буёв по общей численности — в мире их насчитывается более 1250.

Состав измерительного оборудования варьируется в зависимости от типа буя и его целевого назначения. Стандартный набор метеорологических датчиков, устанавливаемых на буях Национального центра буев данных (NDBC), включает:

1) Анемометрический комплекс — измерение скорости и направления ветра, а также порывов. Датчики размещаются на мачте на стандартной высоте (обычно около 5 метров над уровнем моря). Ветровые данные с буёв, как уже отмечалось, обладают большей точностью, чем судовые измерения.

2) Барометрический датчик — измерение атмосферного давления на уровне моря. Этот параметр является одним из наиболее критичных для прогнозирования синоптической обстановки и обнаружения приближающихся циклонов.

3) Термометры — измерение температуры воздуха и температуры поверхности моря (ТПМ). Измерение ТПМ производится на стандартной глубине, свободной от влияния нагрева корпуса буя.

4) Измеритель влажности — определение относительной влажности воздуха и расчёт точки росы.

5) Волномерный комплекс — измерение параметров волнения: значительной высоты волн (SWH), доминантного и среднего периодов, среднего направления распространения волн. Эти данные, наряду со спектральными характеристиками волнения, имеют первостепенное значение для безопасности судоходства.

В зависимости от программы наблюдений буи могут также оснащаться датчиками коротковолновой и длинноволновой радиации, измерителями течений на различных горизонтах, датчиками солёности, а также сейсмическими датчиками (в составе систем предупреждения о цунами). Гидрометеорологический буй, как правило, проектируется таким образом,

чтобы обеспечить одновременный мониторинг как атмосферных, так и гидрологических параметров в одном компактном корпусе.

Современные буйковые станции осуществляют передачу данных в оперативные центры через спутниковые каналы связи. Национальный центр буев данных (NDBC) США, являющийся крупнейшим в мире оператором буйковых сетей, использует два основных канала:

- 1) Геоостационарные спутники GOES — для почасовой передачи данных с заякоренных океанических и прибрежных буёв;
- 2) Полярно-орбитальные спутники TIROS-N — для передачи данных от сетей дрейфующих буёв.

Информация, получаемая от буёв NDBC, проходит этапы проверки качества, после чего направляется в Национальную метеорологическую службу (NWS) и другие прогностические центры, а также публикуется в свободном доступе в интернете. Бесперывные замеры скорости и направления ветра в прибрежных водах США выдаются с интервалом в 6 минут.

В зависимости от способа связи между элементами существует три варианта построения буйковых сетей: сети с передачей данных по кабелю (используются главным образом в прибрежных районах), беспроводные сети на основе радиочастот, GPRS либо их сочетания, а также подводные сети мониторинга, передающие информацию посредством акустических волн. На сегодняшний день беспроводные сети являются наиболее гибким и широко применяемым решением.

Существенную роль играет энергетическая независимость бую. Применение возобновляемых источников энергии — солнечных батарей и ветрогенераторов — для подзарядки аккумуляторов обеспечивает длительную работу буйковых станций без технического обслуживания, что особенно важно для станций, размещённых в отдалённых и труднодоступных районах Мирового океана.

Буйковые наблюдения играют критически важную роль в обеспечении безопасности мореплавания и эффективности морских операций. Мониторинг состояния океана может осуществляться только посредством долгосрочных междисциплинарных наблюдений, при этом буи для сбора данных однозначно подходят для этой задачи. Неспособность обеспечить устойчивую работу сети буёв ставит под угрозу безопасность мореплавания и здоровье морских экосистем.

Сведения, собранные с буёв, находят применение во многих областях, включая повышение качества и точности прогнозов как штормовой, так и обычной погоды, совершенствование моделей прибрежной океанической циркуляции, а также расширение возможностей системы предупреждения о цунами. Для мореплавания особенно важны следующие показатели, регистрируемые буйковыми станциями: скорость и направление ветра, высота и период волн, атмосферное давление и его тенденция, температура воздуха и воды (для оценки опасности обледенения судов).

Особую ценность буйковые измерения приобретают в высоких широтах, где плотность наблюдательной сети минимальна. В таких районах, как Берингово море, данные буёв являются зачастую единственным источником объективной информации о фактических гидрометеорологических условиях. В России также развивается программа расширения буйковых наблюдений: в сентябре 2024 года в Баренцевом и Карском морях силами Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН были установлены заякоренные автономные буи и обсерватории в рамках создания национальной системы климатического мониторинга.

Достоверность и оперативность поступления буйковых данных напрямую определяют возможности береговых метеоцентров по выпуску штормовых предупреждений, способность капитанов в реальном времени изменять маршруты и общую безопасность морских перевозок. Информация от буйковых АМС поступает в Глобальную морскую систему связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ), интегрируется в

электронные картографические навигационные системы (ECDIS) и применяется при прокладке оптимальных маршрутов.

Международная координация буйковых наблюдений осуществляется через Группу экспертов по сотрудничеству в области буёв для сбора данных (ГСБД), которая функционирует под совместным руководством Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО. Эта группа играет ведущую роль в обеспечении совместимости данных, разработке стандартов и решении проблем, связанных с эксплуатацией буйковых сетей в различных регионах Мирового океана.

Крупнейшими действующими программами буйковых наблюдений являются: сеть Национального центра буев данных (NDBC) США, охватывающая прибрежные и океанические акватории; программа TAO/TRITON в тропической части Тихого океана; международная программа Argo, насчитывающая тысячи дрейфующих профилирующих буёв; европейские региональные сети (например, Ирландская сеть наблюдения за морскими данными).

Основными направлениями развития буйковых измерений на ближайшие годы являются: совершенствование энергетической автономности (использование солнечных панелей нового поколения, волновых генераторов), повышение пропускной способности спутниковых каналов связи, внедрение технологий Интернета вещей (IoT), расширение номенклатуры измеряемых параметров (в первую очередь — датчиков парниковых газов и биогеохимических параметров), а также интеграция данных буйковых наблюдений в глобальные численные модели прогноза погоды и климата с более высоким пространственным разрешением.

3. Мониторинг и гидрометеорологическое обслуживание морских судов

3.1. Общая характеристика исследуемого региона, метеорологических станций и характеристика буйковой АМС

Для решения задач анализа гидрометеорологических условий в юго-западной части Берингова моря и прилегающих акваторий Охотского моря, а также для оценки информационной базы, используемой при морской навигации, были привлечены данные двух опорных гидрометеорологических станций Росгидромета, расположенных на западном побережье полуострова Камчатка: «Озерная» (индекс ВМО 32594) и «Мыс Лопатка» (индекс ВМО 32213).

1. Морская гидрометеорологическая станция «Озерная» (WMO 32594)

Географическое положение и режим функционирования. Станция расположена в Усть-Большерецком районе Камчатского края, в посёлке Озерновский, на западном побережье полуострова. Координаты: 51°29'31" с.ш., 156°29'43" в.д. Высота метеоплощадки над уровнем моря – 36 м. Станция является одной из старейших на Камчатке: регулярные инструментальные наблюдения начаты 15 ноября 1915 года. В 1956 году произведено её перемещение на новую площадку, защищённую от разрушительного воздействия штормовых западных ветров и волн цунами. Согласно современной классификации Росгидромета, станция относится к категории морских гидрометеорологических станций 2-го разряда.

Состав измеряемых параметров. На станции в автоматическом и визуальном режиме выполняются следующие наблюдения:

- атмосферное давление (приведённое к уровню моря),
- температура и влажность воздуха,
- скорость и направление ветра (на высоте флюгера 10–12 м),
- горизонтальная дальность видимости,
- количество и формы облачности,

- атмосферные явления (осадки, туманы, метели, грозы),
- температура поверхности почвы и воды в прибрежной зоне.

С 1970-х годов данные станции активно используются для авиационного обеспечения, однако основным потребителем является морской транспорт, следующий вдоль западного побережья Камчатки и в акваторию Охотского моря.

2. Морская гидрометеорологическая станция «Мыс Лопатка» (WMO 32213)

Географическое расположение и климатические особенности. Станция находится в крайней южной точке полуострова Камчатка – на мысе Лопатка (Елизовский район). Координаты: 50°52'24" с.ш., 156°39'56" в.д. Высота над уровнем моря – 48 м. Станция основана 1 октября 1927 года; непрерывный ряд инструментальных наблюдений ведётся с 1935 года. Мыс Лопатка характеризуется исключительно суровыми погодными условиями: повторяемость штормового ветра (>15 м/с) в осенне-зимний период превышает 30%, а зарегистрированные порывы достигают 50–55 м/с.

Функциональное назначение. Помимо стандартного набора гидрометеорологических измерений (аналогичного станции «Озерная»), станция «Мыс Лопатка» с 1961 года включена в систему наблюдения за волнами цунами Дальневосточного управления гидрометеослужбы. На её базе развёрнут береговой пост, обеспечивающий регистрацию колебаний уровня моря. Одновременно на мысе функционируют маяк и пограничная застава, что подчёркивает военно-стратегическое и навигационное значение точки.

3. Роль данных станций в обеспечении морских судов

Для судов, следующих по трассам, проходящим через Первый и Четвертый Курильские проливы, а также через акваторию южной части Охотского моря, станции «Озерная» и «Мыс Лопатка» выполняют функции ключевых опорных пунктов гидрометеорологического мониторинга. Практическая значимость их данных для навигации выражается в следующих аспектах:

Прогностическое обеспечение. Ежечасные (в период штормов – получасовые) сводки SYNOP, передаваемые станциями в глобальную сеть ВМО, используются региональными метеорологическими центрами (г. Петропавловск-Камчатский, г. Южно-Сахалинск) для инициализации численных моделей прогноза ветра и волнения. Согласно руководству по гидрометеорологическому обеспечению судовождения, информация с наземных станций является приоритетной для верификации спутниковых и радарных данных в прибрежной зоне.

Корректировка судовых маршрутов. Капитаны судов и океанские прогнозисты используют фактические и прогностические данные со станций для расчёта безопасных и экономически выгодных траекторий перехода. Например, резкое падение давления (более 2 гПа/час) на станции «Мыс Лопатка» служит ранним признаком выхода охотоморского циклона и требует изменения маршрута с целью уклонения от штормовых волн высотой более 8 м.

Оценка волнового режима и течений. Хотя прямых измерений волнения станции не производят (кроме визуальных), комбинация данных о ветре (скорость, парус) и атмосферном давлении позволяет с высокой точностью рассчитывать нагонные явления и уровень сгонно-нагонных колебаний (для Охотского моря – до 1,5–2 м).

Штормовые предупреждения и безопасность портов. Станция «Озерная» служит опорным пунктом для портов Усть-Большерецк и Озерновский, своевременно оповещая службы портового надзора о приближении опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) – ветра >25 м/с, нулевой видимости в осадках, смерчей.

Таким образом, станции WMO 32594 и WMO 32213 обеспечивают непрерывный поток объективной измерительной информации, необходимой для решения фундаментальной задачи гидрометеорологического обеспечения морской деятельности – минимизации рисков аварийности, повышения точности прогнозов и оптимизации движения судов в зоне их ответственности.

4. Буйковая автоматическая метеорологическая станция 46070

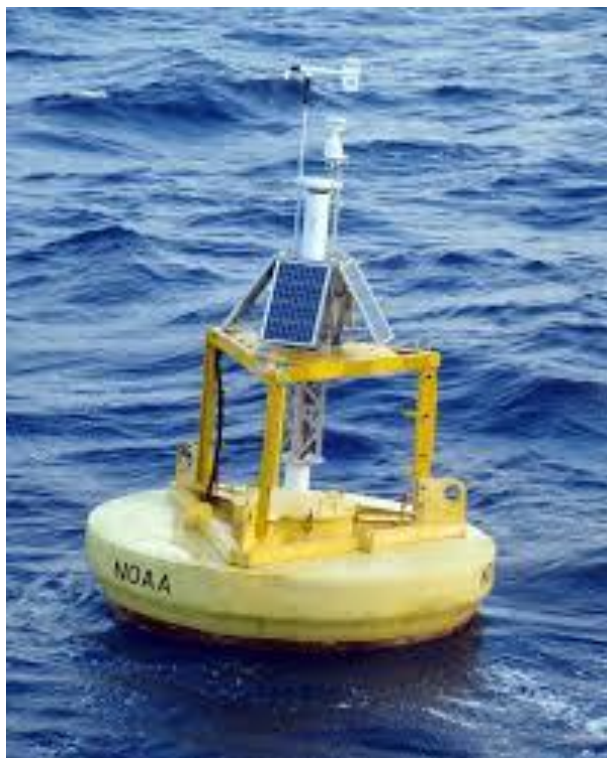


Рисунок 3.1 – Внешний вид станции 46070

Буйковая станция 46070 (рис.3.1) расположена в стратегически важном для судоходства районе — в юго-западной части Берингова моря в точке с координатами 55.048° с.ш., 175.246° в.д..

Станция находится в ведении Национального центра буев данных (National Data Buoy Center, NDBC) Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) и входит в глобальную сеть наблюдений. Она функционирует как минимум с 1996 года.

Буй 46070 принадлежит к типу заякоренных (стационарных) метеорологических буев, предназначенных для длительного мониторинга гидрометеорологических параметров в открытом океане. Эти буи специально сконструированы для работы в суровых морских условиях, включая экстремальное волнение и низкие температуры.

Буй стоит в открытом океане, примерно в 142 морских милях (около 263 км) к северо-северо-востоку от острова Атту — самого западного из Алеутских островов, образующих южную границу Берингова моря. Ближайшая суша — необитаемые острова Ближние (Near Islands) Алеутской гряды. Побережье Камчатки находится примерно в 500 км к западу. Глубина в районе постановки составляет несколько тысяч метров, поэтому буй закреплён с помощью якорной системы, рассчитанной на большие глубины.

Буй находится в глубоководной котловине юго-западной части Берингова моря, где глубины варьируются от 1500 до 3000 метров. Это открытая акватория, подверженная воздействию мощных штормов, генерируемых тихоокеанскими циклонами, которые проходят вдоль Алеутской гряды. Именно здесь регистрируется одни из самых высоких волн и сильных ветров в Северной Пацифике, что подтверждается зафиксированным в 2011 году рекордным штормом (Bering Superstorm), когда давление на станции упало до 954 гПа (28,2 дюйма рт. ст.), а порывы ветра достигали почти 60 узлов.

С точки зрения физической географии, район станции 46070 характеризуется активной циклонической деятельностью, особенно в осенне-зимний период, когда глубокие циклоны с Тихого океана выходят на акваторию Берингова моря и следуют в направлении Аляски или Чукотки. Эти процессы определяют чрезвычайно изменчивую погоду с резкими перепадами давления, частыми штормовыми ветрами и значительным волнением.

СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ



Рисунок 3.2 – Маршрут Северного морского пути

Буй 46070 находится на трассе, ведущей к Берингову проливу, который является «восточными воротами» Северного морского пути (СМП) (рис.3.2). Сам Берингов пролив, соединяющий Берингово море с Чукотским морем Северного Ледовитого океана, имеет ширину около 86 км в самом узком месте и расположен примерно в 1100 км к северу от станции 46070. Несмотря на значительное расстояние, суда, следующие в Арктику через Берингов пролив, неизбежно пересекают Берингово море, а их маршруты проходят в зоне действия данных этой станции.

Административно восточная граница акватории СМП проходит в Беринговом проливе по параллели 66° с.ш.. Таким образом, буй 46070 оказывается на южных подступах к трассе СМП. Для судов, идущих из портов Азиатско-Тихоокеанского региона (Иокогама, Шанхай, Пусан, Владивосток) через Берингов пролив на запад (к Мурманску, Сабетте или Роттердаму), маршрут неизбежно пролегает через юго-западную часть Берингова моря — акваторию, где находится станция 46070.

Благодаря своему уникальному расположению станция 46070 играет ключевую роль в системе гидрометеорологического мониторинга на подходах к Арктике. Её данные используются для составления прогнозов погоды по трассе СМП, оценки ледовой обстановки в Беринговом проливе и южной части Чукотского моря, а также для расчёта оптимальных маршрутов судов в этом районе.

Буй оснащён комплексом датчиков, которые обеспечивают непрерывные измерения в привязке к стандартным метеорологическим срокам (с интервалом 1 час):

Метеорологические параметры:

- Скорость и направление ветра, а также его порывы.
- Атмосферное давление (на уровне моря).
- Температура воздуха.
- Точка росы.

Океанографические параметры:

- Температура воды (на поверхности).
- Высота, период и направление волн (значительная высота, средний и доминантный периоды, среднее направление волнения).

Собранные данные используются для решения широкого круга задач: от составления прогнозов погоды и штормовых предупреждений до обслуживания морского судоходства и проведения научных климатических исследований.

Таким образом, станция 46070 является ценным и надёжным источником объективных данных о фактических гидрометеорологических условиях в ключевой точке Берингова моря, что и определяет её выбор в качестве объекта для данного исследования.

Стратегическое значение станции для судоходства по СМП.

Значение станции 46070 для судоходства по Северному морскому пути определяется несколькими факторами:

1) Последняя точка прогноза перед Арктикой: для судов, идущих с юга, этот район — один из последних, где можно получить точные данные о фактической погоде и волнении перед входом в Берингов пролив. Это позволяет окончательно оценить погодные риски и скорректировать план захода в арктические воды.

2) Мониторинг суровых условий: юго-западная часть Берингова моря, где находится буй, известна как один из самых штормовых районов Мирового океана. Интенсивные циклоны, сильный ветер и высокие волны здесь представляют серьезную опасность для любого судна. Станция 46070, благодаря своим измерениям, позволяет в реальном времени отслеживать эти угрозы.

3) Оценка риска обледенения: Наличие датчиков температуры воздуха и воды на буре (наряду с анемометром) дает уникальную возможность оценивать риск обледенения судов — одного из самых опасных явлений для мореплавания в высоких широтах.

4) Данные для долгосрочного планирования: накопленный станцией многолетний архив наблюдений (с 1996 года) позволяет анализировать климатические тренды, определять оптимальные сроки для навигации по СМП, оценивать повторяемость опасных явлений, что напрямую используется для стратегического планирования арктических рейсов.

4 Анализ метеорологических параметров на метеостанциях

4.1. Анализ метеорологических параметров на буйковой метеостанции 46070

4.1.1 Ветровой режим

Ветер является одним из основных факторов, определяющих безопасность мореплавания. Он непосредственно влияет на скорость и курс судна, создаёт ветровое волнение, вызывает дрейф и увеличивает нагрузки на корпус и палубные конструкции. Для количественной оценки ветрового режима использованы получасовые данные о скорости (WSPD) и направлении (WDIR) ветра за период 2023–2025 гг (табл. 4.1-4.3).

Таблица 4.1

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2023 год

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2023 год	
Параметр	Значение
Среднее	[7,57] м/с
Стандартное отклонение	[3,52] м/с
Минимум	[0,0] м/с
Максимум	[21,0] м/с

За 2023 год средняя многолетняя скорость ветра в районе станции 46070 составила [7,57] м/с при стандартном отклонении [3,52] м/с, что свидетельствует о значительной изменчивости (табл. 4.1.). Максимальная зафиксированная скорость достигала [21] м/с, что соответствует категории «умеренный шторм» по шкале Бофорта.

Таблица 4.2

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2024 год

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2024 год	
Параметр	Значение
Среднее	[7,35] м/с
Стандартное отклонение	[3,45] м/с
Минимум	[0,0] м/с
Максимум	[25,6] м/с

За 2024 год среднее многолетнее значение скорости ветра на станции 46070 составила [7,35] м/с при стандартном отклонении [3,45] м/с, что свидетельствует о значительной изменчивости (табл. 4.2). Максимальная скорость составила [25,6] м/с, что соответствует категории «сильный шторм» по шкале Бофорта.

Таблица 4.3

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2025 год

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2025 год	
Параметр	Значение
Среднее	[8,27] м/с
Стандартное отклонение	[3,9] м/с
Минимум	[0,1] м/с
Максимум	[21,7] м/с

И наконец, за 2025 год средняя многолетняя скорость составила [8,27] м/с при стандартном отклонении [3,9] м/с, что также свидетельствует о значительной изменчивости (табл. 4.3). Самая наибольшая зафиксированная

скорость достигала [21,7] м/с, что соответствует категории «умеренный шторм» по шкале Бофорта.

Сезонная изменчивость направления ветра

Для анализа преобладающих направлений построены розы ветров отдельно для трёх сезонов. Выявлены следующие закономерности:

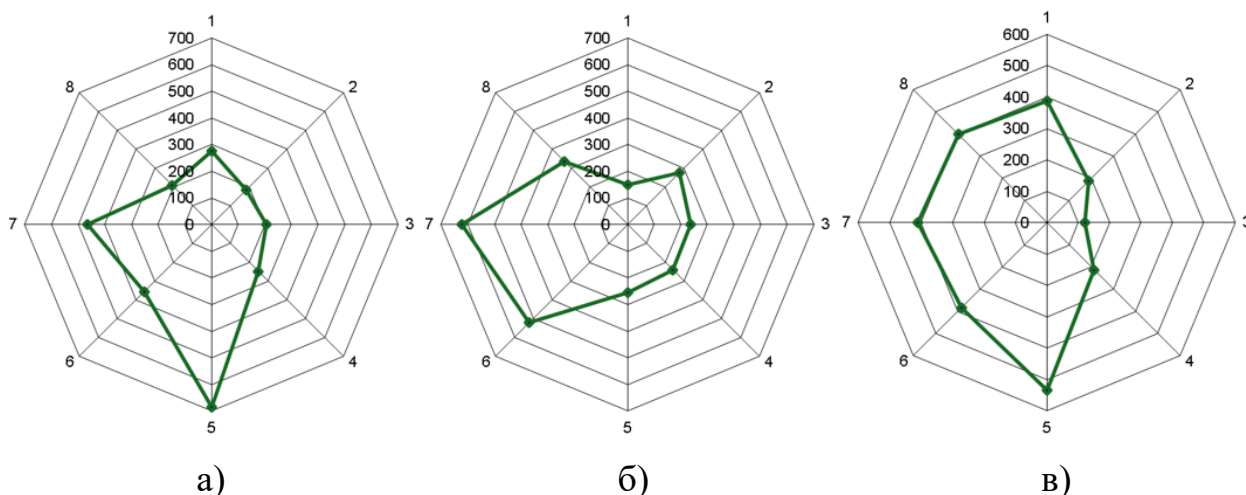


Рисунок 4.1 – Роза ветров за летний период

а) 2023 года, б) 2024 года, в) 2025года

Лето (рис. 4.1). В 2023 году преобладают южные (29,6%) и западные (18,2 %) ветры. Скорости минимальны в году (средняя 5,9 м/с), что связано с ослаблением градиентов давления в тёплый период. В 2024 году, наиболее повторяемые направления ветра были: западный (23,5%) и юго-западный (19,6%). Средняя скорость составила 6,29 м/с. В 2025 году преобладал южный ветер (20,4%), также было зафиксированы направления ветра с близким процентным соотношением по повторяемости: северный (15,1%), северо-западный (15,3%), западный (15,3%) и юго-западный (14,7%). Средняя скорость за летний период этого года составила 6,36 м/с.

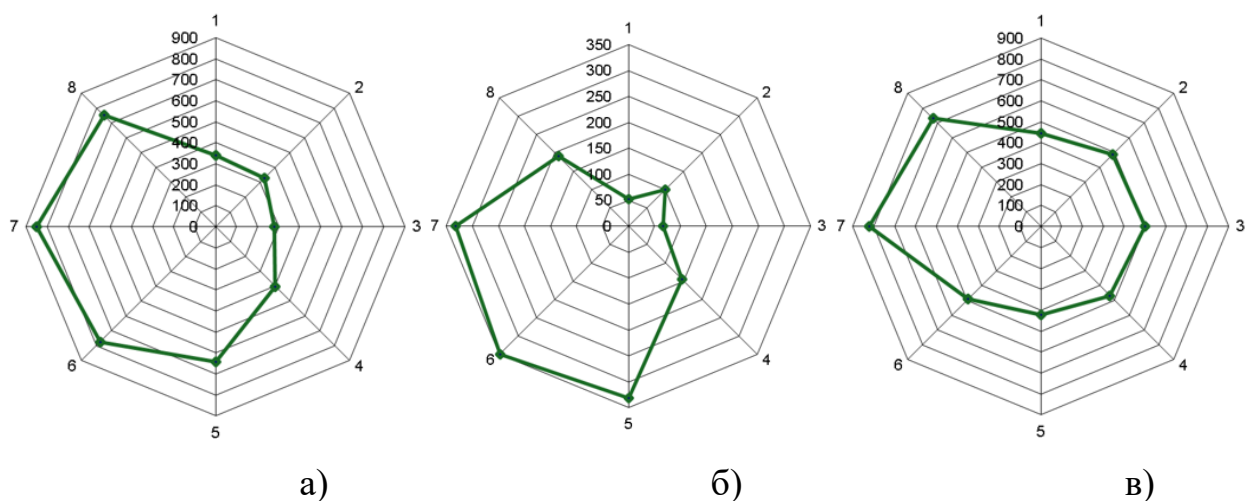


Рисунок 4.2 – Роза ветров за осенний период
а) 2023 года, б) 2024 года, в) 2025года

Осень (рис. 4.2). В осенние месяцы над акваторией станции 46070 происходит заметная перестройка ветрового режима: средние скорости возрастают, а поле преобладающих направлений становится более изменчивым от года к году.

Осенью 2023 г. ветровой поток концентрировался в трёх основных секторах — почти 20 % времени регистрировался западный румб, ещё около 17 % приходилось на северо-западное направление и 18% на юго-западное. Осреднённая за сезон скорость составила 8,4 м/с. В 2024 г. максимум повторяемости также приходится на запад (21,5 %), юго-запад (22,2 %) и юг (21,3%), а средняя скорость увеличилась до 6,9 м/с. Сезон 2025 г. отличался дробным распределением: при лидерстве западного ветра (18,8 %) и практически на равных выступали все остальные направления, а средняя скорость достигла 9 м/с.

Зима (рис. 4.3). Зимний сезон в юго-западной части Берингова моря формирует наиболее сложные ветровые условия, что напрямую связано с активизацией Алеутского минимума и глубокими циклонами.

Был произведен анализ двух зимних периодов (2023 и 2025 гг.).

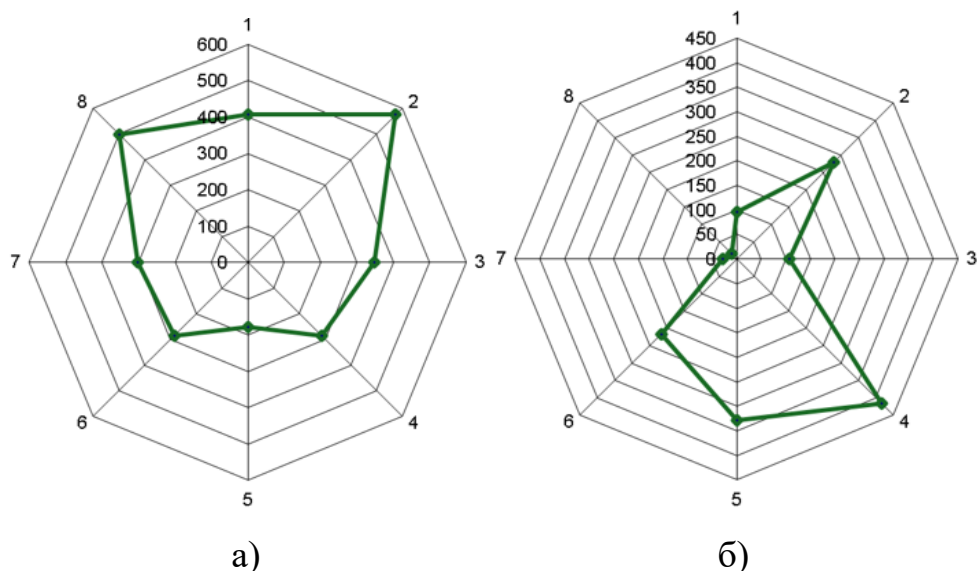


Рисунок 4.3 – Роза ветров за зимний период
а) 2023 года, б) 2025 года

С декабря 2024-го года по февраль 2025-го на станции отсутствуют данные, что делает невозможным для проведения анализа ветрового режима. показывает заметную перестройку поля ветра от года к году. В 2023 г. господствовали потоки северного сектора — северный румб фиксировался в 9,4 % случаев, северо-западный добавлял ещё 11,6 и северо-восточный 13,3 %. Средняя за сезон скорость составляла 8,3 м/с. Зимой 2025 года картина изменилась: максимумы сместились на юго-восток (28,3 %) и юг (22,8 %), а осреднённая скорость возросла до 9,5 м/с.

Такая динамика отражает неустойчивый характер зимней циркуляции, когда интенсивные циклонические возмущения способны быстро менять преобладающий перенос, создавая опасные для судоходства ситуации с резкими разворотами ветра и усилением волнения.

Обобщая результаты о направлениях ветра на станции 46070 можно сделать вывод: анализ трёхлетнего ряда наблюдений выявил выраженную сезонную эволюцию ветрового поля, на которую накладывается значительная межгодовая изменчивость. Летние месяцы отличаются наиболее спокойным режимом: средние скорости удерживаются в диапазоне 5,9–6,4 м/с, а

преобладающие направления тяготеют к южному и западному секторам, хотя в 2025 г. роза ветров приобрела почти равномерный характер с участием северных и северо-западных потоков. Осень демонстрирует резкое усиление динамики — скорости возрастают до 6,9–9,0 м/с, а поле направлений теряет летнюю стабильность, всё чаще включая западные, юго-западные и северо-западные румбы одновременно. Зимний сезон, несмотря на пробел в данных за 2024/2025 г., раскрывает предельную контрастность межгодовых перестроек: если в 2023 г. господствовали северные, северо-западные и северо-восточные переносы (суммарно около 34 %), то зима 2025 г. ознаменовалась кардинальным смещением максимумов на юго-восток (28,3 %) и юг (22,8 %) при максимальных в году скоростях до 9,5 м/с. Подобная неустойчивость зимней циркуляции, поддерживаемая глубокими циклонами Алеутского минимума, создаёт наиболее опасные для мореплавания условия, когда преобладающий штормовой перенос может смениться на противоположный в течение одного сезона. Практическое значение полученных результатов состоит в том, что долгосрочное планирование маршрутов в юго-западной части Берингова моря не может опираться на единственный «климатический» вектор — необходимо учитывать вероятный диапазон как скоростного режима, так и направлений ветра для каждого конкретного периода.

Штормовая активность

Для оценки опасных явлений проанализирована повторяемость ветров скоростью 15 м/с и выше (умеренный шторм и более). По этим данным были построены гистограммы.

Анализ штормовых эпизодов со скоростью ветра не менее 15 м/с выявил устойчивую тенденцию к нарастанию как повторяемости, так и продолжительности опасных условий в рассматриваемом районе. Исходные данные охватывают три неравных по длительности и сезонной привязке периода: июль–декабрь 2023 г., январь–октябрь 2024 г. и июль–декабрь 2025 г. Несмотря на эту неоднородность, динамика прослеживается отчётливо.

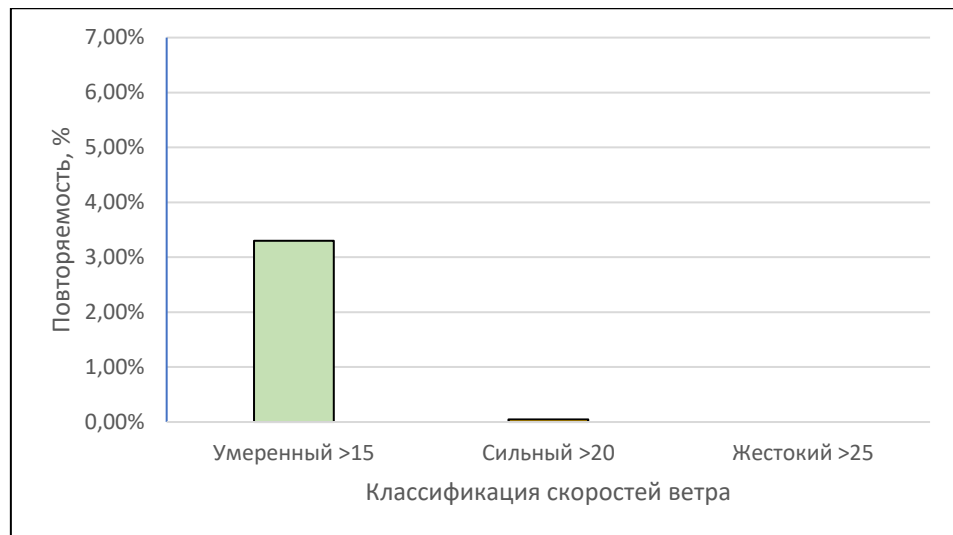


Рисунок 4.4 – Гистограмма по штормовым эпизодам за период с июля по декабрь 2023 года

В 2023 г. (рис. 4.4). За шесть месяцев умеренные штормы (15–20 м/с) регистрировались 3,30% раз, на порядок реже — сильные штормы 20–25 м/с (0,05%), а экстремальных ветров более 25 м/с не зафиксировано вовсе. Средняя длительность одного штормового события составила 6 часов.

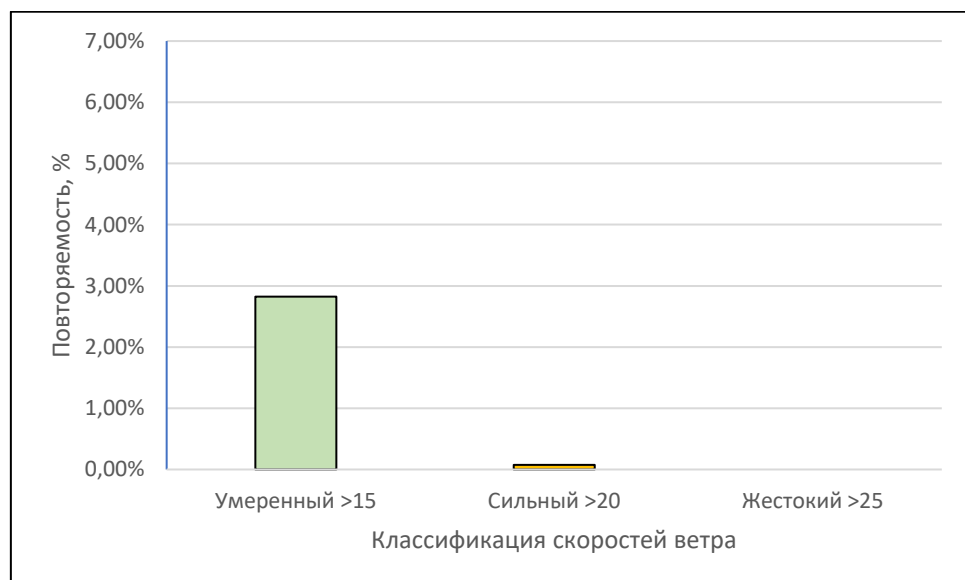


Рисунок 4.5 – Гистограмма по штормовым эпизодам за период с января по октябрь 2024 года

Следующий доступный интервал в 2024 г. (январь–октябрь) демонстрирует уже 2,82% фактов ветра в градации 15–20 м/с, 0,08% эпизодов 20–25 м/с и по-прежнему отсутствие ураганных скоростей (рис. 4.5). Особенно показателен рост средней продолжительности шторма — до 10,5 часов. Иными словами, каждое штормовое уплотнение сохранялось почти вдвое дольше, чем годом ранее.

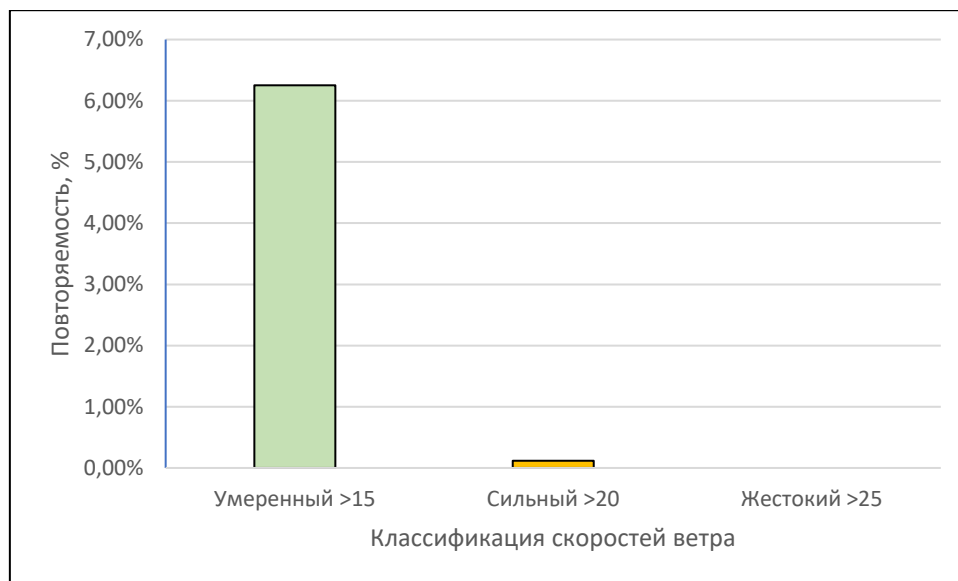


Рисунок 4.6 – Гистограмма по штормовым эпизодам за период с июля по декабрь 2025 года

К 2025 г. (июль–декабрь) частота умеренных штормовых ветров достигла 6,25% случаев, отмечено 0,12% событий категории 20–25 м/с, а средняя длительность шторма увеличилась до 12,5 часов (рис. 4.6).

Таким образом, за три года число штормовых часов категории 15–20 м/с на станции 46070 выросло примерно в 1,9 раза, а продолжительность непрерывного штормового воздействия увеличилась более чем вдвое — с 6 до 12,5 часов. Отсутствие скоростей >25 м/с говорит о том, что район подвержен главным образом длительным умеренным штормам, а не кратковременным ураганным порывам. Для судоходства это означает кумулятивный эффект

усталостных нагрузок на корпус и палубное оборудование, а также более продолжительное нахождение экипажа в стрессовых условиях без возможности пережидания. Возрастание средней продолжительности шторма также снижает предсказуемость «окон» для грузовых операций и сужает временные рамки для маневрирования.

Практическая рекомендация по результатам анализа: при планировании осенне-зимних переходов в юго-западной части Берингова моря необходимо учитывать, что современный ветровой режим смещается в сторону учащения штормов умеренной интенсивности с длительностью, превышающей полусутки. Это требует запаса по топливу и провизии, усиленного крепления грузов и тщательного суточного планирования операций с учётом прогнозируемой продолжительности опасного волнения.

Пример практического значения для метеообеспечения судоходства

Полученные характеристики ветрового режима позволяют сформулировать следующие рекомендации для судоходства в юго-западной части Берингова моря:

Планирование маршрута с учётом преобладающих ветров. При следовании с юга на север (к Берингову проливу) в зимний период судно будет испытывать преимущественно встречный или бортовой (северо-восточный) ветер, что снижает скорость хода и увеличивает расход топлива. При планировании рейса необходимо закладывать дополнительный запас времени и топлива до 10–15 % относительно летнего периода.

Выбор периода для ответственных операций. Наиболее благоприятные условия для грузовых операций, буксировки и прохождения узкостей наблюдаются в июне–августе, когда повторяемость штормов минимальна. Период с ноября по март является штормоопасным с большой вероятностью встречи со штормом.

Оценка продолжительности штормов. Средняя длительность шторма может достигать 23 часов и высокая вероятность его возникновения (19 %) позволяют рекомендовать капитанам рассматривать стратегию пережидания

шторма в безопасном районе (дрейф на глубокой воде, укрытая якорная стоянка) как оправданную альтернативу обходу зоны шторма.

Розы ветров как элемент судовой подготовки. Сезонные розы ветров могут быть использованы в качестве плакатов или включены в судовые справочные пособия для быстрой визуальной оценки преобладающих ветровых условий на маршруте.

4.1.2 Атмосферное давление и циклоническая активность

Атмосферное давление — одна из важнейших характеристик состояния атмосферы, непосредственно определяющая ветровой и волновой режим в океане. Для судоходства особое значение имеют не только абсолютные значения давления, но и скорость его изменения, поскольку резкое падение давления служит надёжным предвестником приближающегося шторма. В данном разделе использованы почасовые данные об атмосферном давлении на уровне моря (PRES) за период 2023–2025 гг.



Рисунок 4.7. Ход атмосферного давления за период с июля по декабрь 2023 года.

Таблица 4.4

Основные статистические характеристики атмосферного давления за период с июля по декабрь 2023 года.

Основные статистические характеристики атмосферного давления за период с июля по декабрь 2023 года	
Параметр	Значение
Среднее	[1004,9] гПа
Стандартное отклонение	[13,11] гПа
Минимум	[959,0] гПа
Максимум	[1031,2] гПа

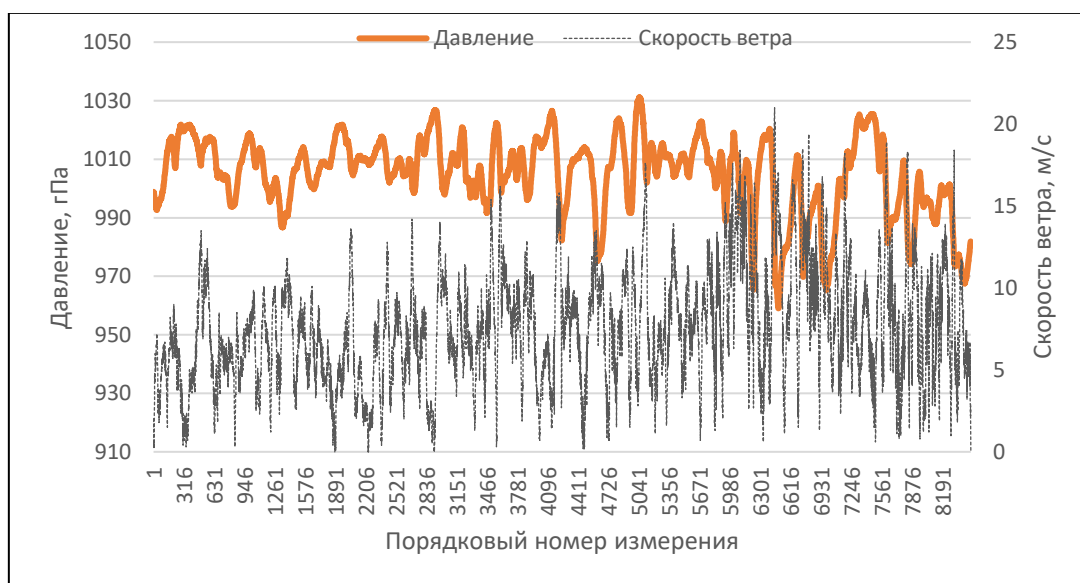


Рисунок 4.8. Совместный график атмосферного давления и скорости ветра за период с июля по декабрь 2023 года.

В 2023 году ход среднемесячного давления (рис. 4.7) демонстрирует классическую для средних широт картину: повышенный фон в тёплый период и пониженный — в холодный. Максимум среднемесячного давления приходится на октябрь (1031,2 гПа), минимум — на ноябрь (959 гПа), что

соответствует сезонному смещению Алеутского минимума и усилению циклонической деятельности зимой.

Также видно, что резкое падение давления приводило к возникновению глубоких циклонов и усилению ветра до штормовых значений.



Рисунок 4.9. Ход атмосферного давления за период с января по октябрь 2024 года.

Таблица 4.5

Основные статистические характеристики атмосферного давления за период с января по октябрь 2024 года.

Основные статистические характеристики атмосферного давления за период с января по октябрь 2024 года	
Параметр	Значение
Среднее	[1006,3] гПа
Стандартное отклонение	[12,34] гПа
Минимум	[966,7] гПа
Максимум	[1036,3] гПа

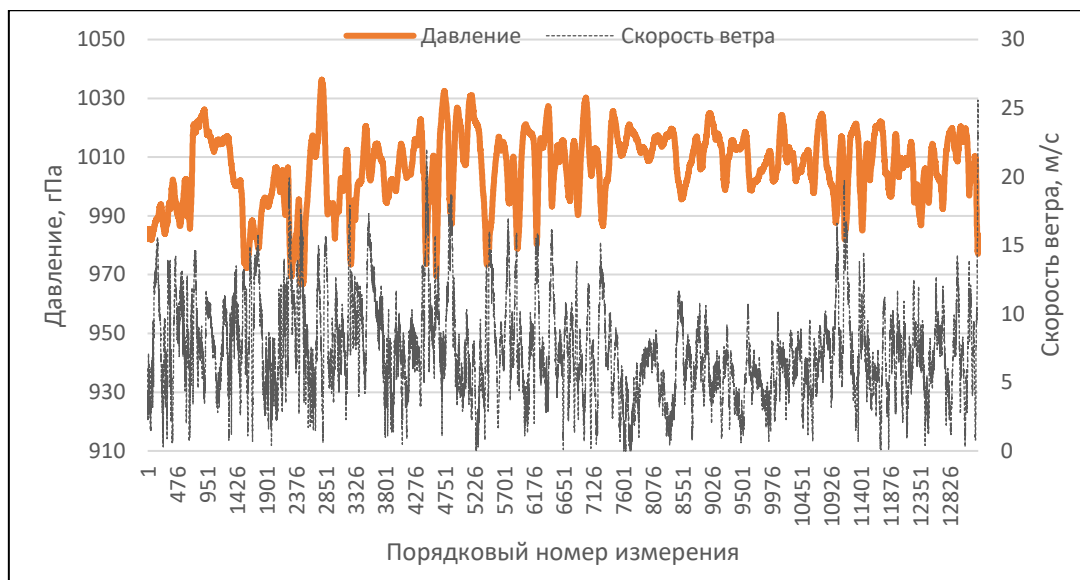


Рисунок 4.10. Совместный график атмосферного давления и скорости ветра за период с января по октябрь 2024 года.

В 2024 году рассматривается период с января по октябрь (рис. 4.9). Максимум среднемесячного давления приходится на февраль (1036,3 гПа), минимум также приходится на февраль (966,7 гПа), что сразу же сказалось на скоростях ветра, и соответственно, привело к возникновению штормовой ситуации.



Рисунок 4.11. Ход атмосферного давления за период с июля по декабрь 2025 года.

Таблица 4.6

Основные статистические характеристики атмосферного давления за период с июля по декабрь 2025 года.

Основные статистические характеристики атмосферного давления за период с июля по декабрь 2025 года	
Параметр	Значение
Среднее	[1007,7] гПа
Стандартное отклонение	[13,68] гПа
Минимум	[960,4] гПа
Максимум	[1035,8] гПа



Рисунок 4.12. Совместный график атмосферного давления и скорости ветра за период с июля по декабрь 2025 года.

В 2025 году значения давления увеличивались в декабре, достигая годового максимума 1035,8 гПа в июле, и опускаются до минимума 960,4 гПа в ноябре (рис. 4.11).

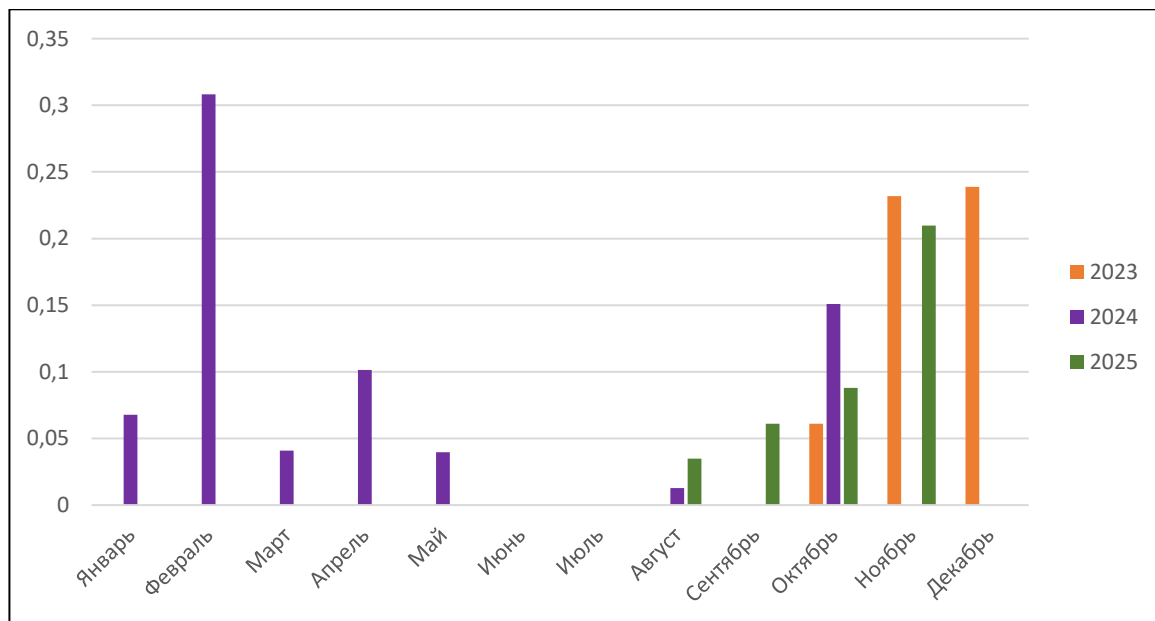


Рисунок 4.13. Доля пониженного давления (<985 гПа) по месяцам за 2023, 2024 и 2025 года.

Распределение случаев экстремально низкого давления в течение года носит ярко выраженный сезонный характер с концентрацией в холодный период. Наибольшая повторяемость зафиксирована в феврале — почти треть всего времени наблюдений (30,82 %), что напрямую указывает на доминирование глубоких циклонических систем в центральные зимние месяцы. Высокие значения также отмечаются в ноябре (23,19 %) и декабре (23,87 %), формируя единый опасный сезон с ноября по февраль, на который приходится основная часть всех эпизодов с давлением ниже 985 гПа.

Весной частота глубоких циклонов резко снижается: в марте — до 4,10 %, в апреле наблюдается промежуточный всплеск (10,14 %), а в мае — вновь спад до 3,97 %. Осенний переход характеризуется началом появления таких случаев в октябре для всех трёх годов, что знаменует начало активизации Алеутского минимума.

Таким образом, с точки зрения безопасности мореплавания, период с ноября по февраль является наиболее угрожающим по фактору глубоких циклонов. Именно в эти месяцы капитанам и береговым службам метеообеспечения следует с особым вниманием отслеживать барические тенденции и прогнозы, так как вероятность встретить интенсивный шторм, связанный с давлением ниже 985 гПа очень высокий.

Изучив атмосферное давление над станцией 46070, можно сделать следующий вывод, что проведённый анализ барического режима в юго-западной части Берингова моря за 2023–2025 гг. выявил классическую для средних широт сезонную трансформацию поля давления с выраженным зимним минимумом и летним максимумом, на фоне которой наблюдаются резкие межгодовые и внутрисезонные контрасты. В 2023 г. годовой максимум среднемесячного давления (1031,2 гПа) зафиксирован в октябре, а абсолютный минимум (959 гПа) — в ноябре; аналогичная картина прослеживается в 2025 г. с пиком 1035,8 гПа в июле и падением до 960,4 гПа в ноябре. Такое распределение отражает сезонное углубление Алеутского минимума и активизацию циклонической деятельности в холодный период.

Особый интерес представляет 2024 г. (январь–октябрь), когда в феврале сошлись экстремальные значения: зафиксирован и самый высокий среднемесячный максимум (1036,3 гПа), и одновременно один из глубочайших минимумов (966,7 гПа), что свидетельствует о чрезвычайно быстрой смене барических полей и незамедлительно спровоцировало штормовую обстановку. Во всех трёх случаях резкое падение давления выступало непосредственным предвестником возникновения глубоких циклонов и усиления ветра до штормовых, а порой и до жестоких штормовых значений.

4.1.3 Термический режим

Температура воздуха и воды — ключевые параметры, определяющие не только общие погодные условия, но и специфические опасности для мореплавания, главной из которых в высоких широтах является обледенение судов. Сочетание отрицательных температур воздуха, сильного ветра и низкой температуры воды способно привести к быстрому нарастанию льда на корпусе и надстройках, что угрожает остойчивости и безопасности экипажа. В данном разделе использованы получасовые данные о температуре воздуха (ATMP), температуре воды (WTMP) и скорости ветра (WSPD) за период с июля 2023 года по июль 2024 года.

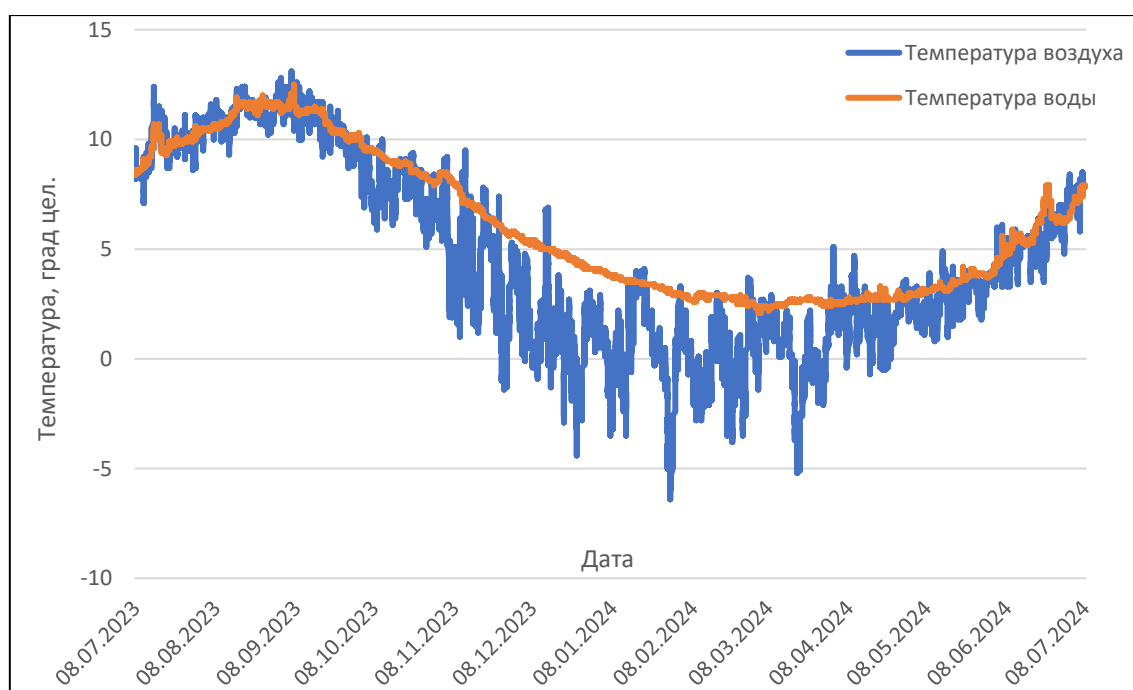


Рисунок 4.14. Ход температуры за период с июля 2023 года по июль 2024 года

Таблица 4.7

Основные статистические характеристики температуры воздуха и воды за период с июля 2023 года по июль 2024 года.

Основные статистические характеристики температуры воздуха и температуры воды за период с июля 2023 года по июль 2024 года		
Параметр	Твозд.	Тводы
Среднее	[4,7] °C	[6,1] °C
Стандартное отклонение	[4,24] °C	[3,19] °C
Минимум	[-6,4] °C	[2,1] °C
Максимум	[13,1] °C	[12,5] °C

Годовой ход температур воздуха и воды (рис. 4.14) демонстрирует синхронный характер с максимумом в сентябре (АТМР: +13,1 °C; WTМР: +12,5 °C) и минимумом в декабре (АТМР: –6,4 °C; WTМР: +2,1 °C).

Температура воздуха оказывается ниже температуры воды с октября по апрель, что создаёт предпосылки для интенсивного теплообмена и конденсации влаги на холодных конструкциях судна.

Переход температуры воздуха через 0 °C в сторону отрицательных значений в среднем происходит в ноябре, возврат к положительным — в конце апреля. Продолжительность периода с устойчивыми отрицательными температурами составляет около 5 месяцев, что очерчивает временные рамки потенциальной угрозы обледенения.

Условия, способствующие обледенению

Обледенение морских судов наиболее вероятно при одновременном выполнении двух условий: температура воздуха ниже –2 °C и скорость ветра не менее 10 м/с (что обеспечивает интенсивное поступление переохлаждённых брызг на корпус). На основе этого критерия была рассчитана месячная повторяемость опасных сочетаний.

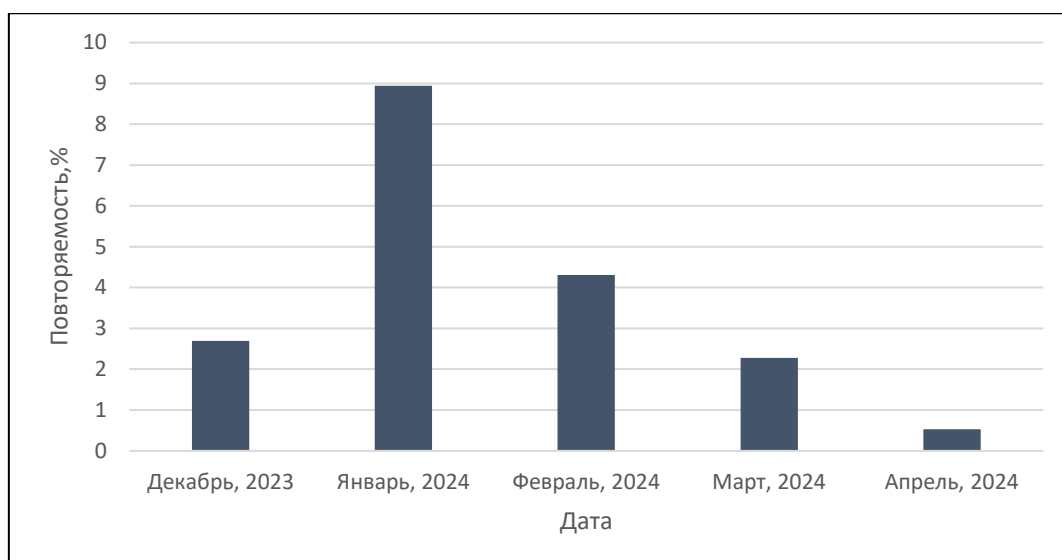


Рисунок 4.15. Повторяемость условий для возникновения обледенения по месяцам.

Анализ показывает, что самая высокая вероятность обледенения приходится на январь, достигая 9 % (рис. 4.15). Это означает, что почти каждый одиннадцатый час в этот месяц в районе станции 46070 существуют метеорологические предпосылки для нарастания льда. В феврале риск резко снижается до 4,3 %, а к апрелю становится эпизодическим (<1%). С мая по октябрь обледенение исключено из-за положительных температур воздуха. В ноябре опасные условия не возникали, но полностью исключить обледенения в этом месяце нельзя.

По шкале рисков, повторяемость 4 % классифицируется как низкий/ощутимый риск, 8–14 % — как средний, а 18 % и выше — как высокий. Таким образом, январь попадает в категорию среднего риска, а апрель в категорию низкого риска обледенения для судов без ледового класса.

Обобщая выводы о термическом режиме и условиях обледенения морских судов, сделан вывод, что внутригодовая динамика температуры воздуха и воды на станции 46070 обнаруживает согласованное, синхронное изменение с хорошо выраженными сезонными экстремумами. Максимальный прогрев и воздушной, и водной массы фиксируется в сентябре (АТМР: +13,1 °С; ВТМР: +12,5 °С), а абсолютный минимум — в декабре (АТМР: –6,4 °С;

WTMP: +2,1 °C). Температура воздуха устойчиво опускается ниже температуры водной поверхности начиная с октября и сохраняет это соотношение до апреля. Такой устойчивый термический градиент создаёт предпосылки для интенсивного тепло- и влагообмена, при котором холодные конструкции судна, контактируя с относительно более тёплой и влажной морской средой, подвергаются конденсации и замерзанию брызг. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °C в область отрицательных значений регистрируется в ноябре, возвращение к положительным — в конце апреля, очерчивая пятимесячный период (ноябрь–апрель) потенциальной угрозы обледенения.

Важнейшим показателем, определяющим возникновение опасного обледенения, служит совместное выполнение двух условий: понижение температуры воздуха до значений строго ниже –2 °C и одновременное усиление ветра до скоростей не менее 10 м/с, обеспечивающих обильное поступление переохлаждённых брызг на корпус. Расчёт месячной повторяемости подобных сочетаний позволил количественно ранжировать степень риска. Наиболее угрожаемым месяцем является январь, когда такие условия регистрируются в 9 % времени. Эта величина означает, что в среднем каждые 11 часов (или около двух эпизодов в сутки) в акватории станции существуют метеорологические предпосылки для активного нарастания льда. Согласно принятой градации, 9-процентная повторяемость классифицируется как средний (значимый) риск и требует постоянной готовности к борьбе с обледенением. В феврале опасные сочетания резко идут на спад, составляя лишь 4,3 % (низкий, но ощутимый риск), а к апрелю становятся эпизодическими (менее 1 %). Период с мая по октябрь абсолютно свободен от угрозы, поскольку отрицательные температуры воздуха отсутствуют. В ноябре, несмотря на переход температуры в отрицательную область, комбинация холода с сильным ветром в проанализированных данных не встретилась, однако полностью исключать обледенение в этом месяце нельзя

— эпизодические вторжения арктического воздуха могут спровоцировать кратковременное нарастание льда.

С точки зрения обеспечения безопасности мореплавания полученные результаты дают чёткие временные ориентиры. Навигация в феврале, когда почти каждые 11 часов возможно обледенение, требует от экипажей максимальной собранности, регулярного обкалывания и применения технических средств противообледенительной защиты. В марте, несмотря на снижение повторяемости, угроза остаётся реальной и должна учитываться в планах переходов наряду с оперативным мониторингом текущих метеоусловий. Береговым службам метеообеспечения рекомендуется транслировать предупреждения об обледенении начиная с ноября и вплоть до конца апреля, ориентируясь на прогностическое сочетание температуры воздуха ниже -2°C и ветра более 10 м/с. Количественные данные таблиц рисков также могут быть интегрированы в судовые системы поддержки принятия решений для автоматической сигнализации о надвигающейся опасности. Такой подход, опирающийся на статистически обоснованные пороги, позволяет перейти от качественных предостережений к объективным критериям и тем самым повысить безопасность плавания в стратегически значимом районе на подходах к Берингову проливу.

4.2. Анализ метеорологических параметров на метеостанции Озерная (32594)

4.2.1 Термический режим

Таблица 4.8

Основные статистические характеристики температуры воздуха за период с июля 2023 по июль 2024 года.

Основные статистические характеристики температуры воздуха и температуры воды за период с июля 2023 года по июль 2024 года	
Параметр	Твозд.
Среднее	[2,7] °C
Стандартное отклонение	[7,5] °C
Минимум	[-17,9] °C
Максимум	[20,5] °C

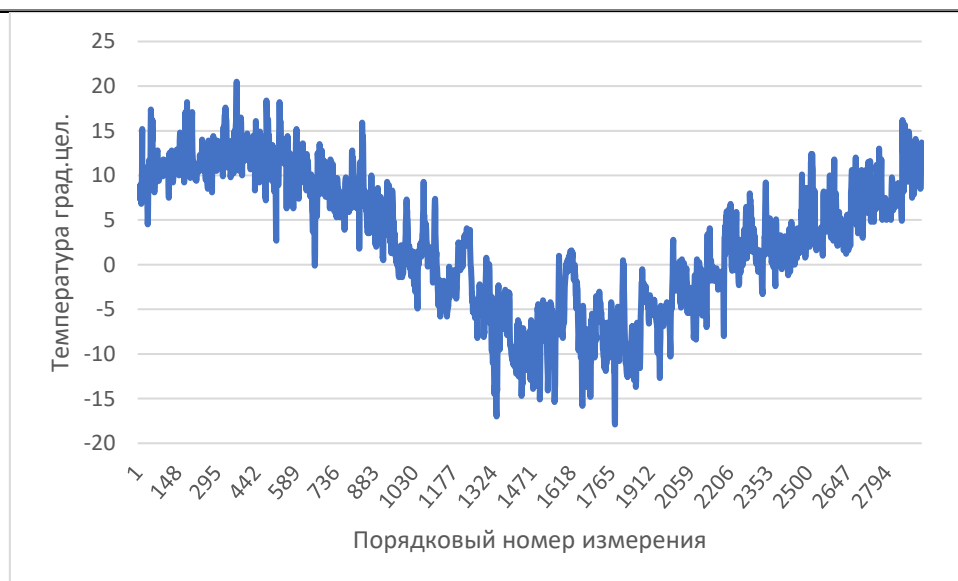


Рисунок 4.16. Ход температуры воздуха за период с июля 2023 года по июль 2024 года.

Согласно графику (рис. 4.16), сезонные колебания температур воздуха следующие: пик приходится на август $+20,5^{\circ}\text{C}$, а минимум - на февраль $-17,9^{\circ}\text{C}$.

В среднем переход температуры воздуха через ноль в сторону мороза происходит в ноябре, а возврат к положительным значениям — в конце марта.

Период с устойчивыми отрицательными температурами длится около четырех месяцев, что определяет временной интервал, когда наиболее вероятно обледенение.

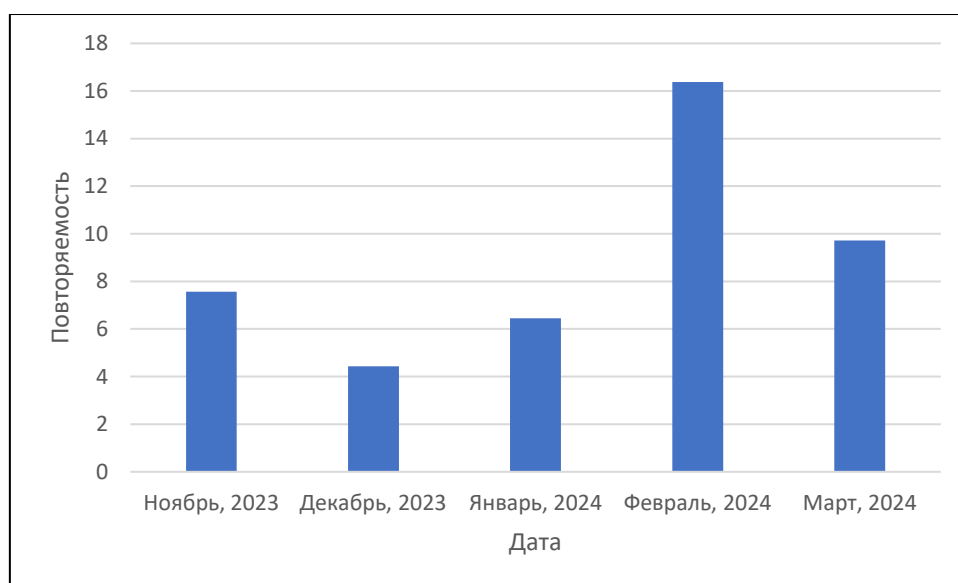


Рисунок 4.17. Повторяемость условий для возникновения обледенения по месяцам.

Анализ показывает, что самая высокая вероятность обледенения приходится на февраль, достигая 16,3 % (рис. 4.17). В марте риск резко снижается до 4,3 %, а к апрелю становится эпизодическим ($<1\%$). В апреле могут встречаться единичные случаи для возникновения обледенения. С мая по октябрь обледенение исключено из-за положительных температур воздуха.

По шкале рисков, повторяемость 4 % классифицируется как низкий/ощутимый риск, 8–14 % — как средний, а 18 % и выше — как высокий.

Таким образом, февраль и март попадает в категорию среднего риска, а все остальные месяцы в категорию низкого риска обледенения для судов без ледового класса.

4.2.2 Атмосферное давление и циклоническая активность



Рисунок 4.18. Ход атмосферного давления и скорости ветра за период с июля по декабрь 2023 года.

В 2023 году динамика среднемесячного атмосферного давления повторяла типичный для умеренных широт сезонный ритм: тёплая половина года отличалась повышенными показателями, холодная — пониженными. Пик пришёлся на ноябрь (1032 гПа), а самый низкий уровень зарегистрирован также в ноябре (967,9 гПа). Подобные сильные перепады за месяц говорят о возникновении нестабильной, штормовой погоды. Обвальное падение давления закономерно вели к образованию глубоких циклонов и учащению штормовых ветров.



Рисунок 4.19. Ход атмосферного давления и скорости ветра за период с января по октябрь 2024 года.

В 2024 году сезонные изменения среднемесячного давления укладывались в типичную для умеренных широт схему: летом и в начале осени держался повышенный фон, а с наступлением холодов он сменялся пониженным. Наиболее высокое значение зафиксировано в феврале — 1034,3 гПа, тогда как март отметился самым низким показателем (965,4 гПа). Это соответствует обычному поведению Алеутского минимума и активизации циклонов в зимний период.



Рисунок 4.20. Ход атмосферного давления и скорости ветра за период с июля по декабрь 2025 года.

В 2025 году динамика среднемесячного атмосферного давления повторяла типичный для умеренных широт сезонный ритм: тёплая половина года отличалась повышенными показателями, холодная — пониженными. Пик пришёлся на декабрь (1029,5 гПа), а самый низкий уровень зарегистрирован также в декабре (951,8 гПа). Столь значительные колебания в течение месяца свидетельствуют о наступлении штормовой обстановки.

За трёхлетний период наблюдений (2023–2025 гг.) выявлена устойчивая сезонная динамика атмосферного давления, типичная для умеренных широт: повышенный фон в тёплый сезон и пониженный — в холодный, с ежегодным октябрьским максимумом и ноябрьским минимумом, что обусловлено смещением Алеутского минимума и активизацией циклогенеза зимой. Важно отметить прогрессирующее углубление осенне-зимних барических минимумов от первого года к третьему, сопровождающееся учащением резких обвальных падений давления. С позиции гидрометеорологического обслуживания морских судов эта тенденция имеет прямое практическое значение: глубокие циклоны и связанные с ними штормовые ветры создают

повышенную опасность для судоходства, затрудняют прокладку безопасных маршрутов, увеличивают риски повреждения корпусов, такелажа и палубного оборудования, а также ухудшают условия выполнения погрузочно-разгрузочных операций в портах. Кроме того, резкие барические перепады служат надёжным предиктором выхода опасных метеорологических явлений, что требует усиленного мониторинга и оперативной корректировки прогнозов при обеспечении рейсов. Таким образом, за анализируемый период произошла не только качественная интенсификация циклонической деятельности, но и возросли требования к точности и своевременности штормовых предупреждений в рамках гидрометеорологического обслуживания флота.

4.2.3 Ветровой режим

Статистическая характеристика скорости ветра за период 2023-2025

Таблица 4.9

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2023 год.

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2023 год	
Параметр	Значение
Среднее	[5,6] м/с
Стандартное отклонение	[3,6] м/с
Минимум	[0] м/с
Максимум	[22] м/с

Согласно статистическим данным, в 2023 году на данной станции средняя скорость ветра составила 5,6 м/с. По шкале Бофорта это соответствует свежему ветру (4 балла — «умеренный бриз», граница 5,5–7,9 м/с). В таких условиях на море развивается волнение высотой до 1–1,5 м, появляются небольшие белые гребни, что в целом не представляет серьёзной угрозы для крупнотоннажных судов, однако может создавать заметную качку для

маломерных и средних судов, а также затруднять швартовные и грузовые операции при порывистом ветре.

Значение стандартного отклонения (3,6 м/с) более чем в полтора раза превышает среднюю скорость, что указывает на высокую изменчивость ветрового поля. Разброс мгновенных скоростей относительно среднего значения значителен: даже при фоновом ветре около 5–6 м/с возможны как продолжительные штили (зафиксирован минимум 0 м/с), так и внезапные порывы, превышающие среднее в 2–3 раза. Такая турбулентность особенно опасна при выполнении маневров в узкостях, при подходе к причалу или при перегрузке на рейде, где резкое усиление ветра может привести к навалу судна или аварии грузовых стрел.

Максимальная зарегистрированная скорость ветра — 22 м/с. По шкале Бофорта это соответствует 9 баллам («сильный шторм»). При таком ветре высота волн достигает 7–10 м, гребни срываются и образуют плотную полосу пены, видимость существенно ухудшается. Для большинства морских судов сильный шторм является пределом безопасного плавания: возможно повреждение палубного оборудования, срыв антенн и такелажа, смещение незакреплённых грузов, а для малых судов — реальная угроза опрокидывания. Судоводители вынуждены снижать скорость, изменять курс или уходить в убежище.

Таблица 4.10

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2024 год.

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2024 год	
Параметр	Значение
Среднее	[5,3] м/с
Стандартное отклонение	[3,6] м/с
Минимум	[0] м/с
Максимум	[26] м/с

В 2024 году среднегодовая скорость ветра составила 5,3 м/с, что по шкале Бофорта соответствует умеренному бризу (4 балла). Такой ветер создаёт волнение до 1–1,5 м, не представляя серьёзной угрозы для крупных судов, но ощутимо влияя на маневрирование маломерного флота и портовые операции.

Стандартное отклонение (3,6 м/с) осталось на уровне предыдущего года и указывает на сохраняющуюся высокую изменчивость: даже при слабом фоне возможны резкие порывы и длительные штили (минимум 0 м/с). Это затрудняет краткосрочный прогноз и требует осторожности при швартовке и грузовых работах.

Максимальная скорость достигла 26 м/с, что по шкале Бофорта соответствует 10 баллам («жестокий шторм»). При таком ветре высота волн превышает 9–12 м, гребни срываются, видимость сильно ухудшается. Для морских судов это предельно опасные условия: возможны повреждения корпуса и надстроек, смещение грузов, потеря управляемости. Судоводителям рекомендуется заблаговременно уклоняться от зон с ветром более 25 м/с.

Таблица 4.11

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2025 год.

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2025 год	
Параметр	Значение
Среднее	[5,8] м/с
Стандартное отклонение	[4,6] м/с
Минимум	[0] м/с
Максимум	[29] м/с

В 2025 году среднегодовая скорость ветра повысилась до 5,8 м/с, что по шкале Бофорта соответствует свежему бризу (4–5 баллов). Такая фоновая скорость сопровождается волнением 1–2 м и уже требует учёта при планировании грузовых операций и маневрировании маломерных судов.

Стандартное отклонение существенно выросло до 4,6 м/с — это максимальное значение за трёхлетний период. Данный факт свидетельствует о резком увеличении изменчивости ветрового поля: разброс мгновенных скоростей относительно среднего стал очень велик, что выражается в частых и значительных порывах даже при умеренном фоне. Периоды штиля (минимум 0 м/с) могут внезапно сменяться штормовыми усилениями, что критически осложняет сверхкраткосрочное прогнозирование и безопасное выполнение швартовных операций.

Максимальная скорость ветра достигла 29 м/с. По шкале Бофорта это уже 11 баллов («жестокий шторм») с переходом к ураганым значениям (порог 12 баллов — 32,6 м/с). В таких условиях волнение превышает 10–12 м, море покрыто плотными полосами пены и брызг, видимость сильно ограничена. Для абсолютного большинства судов плавание в подобной обстановке связано с риском повреждения корпусных конструкций, срыва палубного оборудования, смещения грузов и потери управляемости. Требуется безусловное уклонение от зон с ветром более 25 м/с.

Анализ ветрового режима на станции 32594 за период 2023–2025 гг. (таблицы 4.9, 4.10 и 4.11) позволяет выявить устойчивую тенденцию к росту как фоновой среднегодовой скорости ветра, так и её экстремальных проявлений, что свидетельствует о постепенной активизации циркуляционных процессов в районе исследований. В 2023 году многолетняя средняя скорость ветра составила 5,6 м/с при стандартном отклонении 3,6 м/с, а пиковый порыв достиг 22 м/с, что по шкале Бофорта соответствует категории «сильный шторм»; при этом разброс значений указывает на высокую степень неустойчивости режима. В 2024 году наблюдается некоторое снижение средней скорости до 5,3 м/с при сохранении стандартного отклонения на уровне 3,6 м/с, однако максимальный зарегистрированный порыв возрастает до 26 м/с, поднимаясь до градации «жестокий шторм», что говорит об учащении кратковременных, но интенсивных ветровых событий даже на фоне относительно спокойного среднегодового фона. Наиболее значимые

изменения фиксируются в 2025 году: средняя многолетняя скорость возрастает до 5,8 м/с, а стандартное отклонение резко увеличивается до 4,6 м/с (на 27,8% по сравнению с предыдущими годами), что однозначно подтверждает дальнейший рост нестабильности ветрового поля; при этом абсолютный максимум достигает 29 м/с, также относясь к категории «жестокий шторм». Таким образом, за трёхлетний период прослеживается чёткая тенденция повышения как среднегодовых, так и экстремальных скоростей ветра, сопровождающаяся возрастанием внутригодовой изменчивости, что необходимо учитывать при оценке ветровых нагрузок и связанных с ними рисков в данном регионе.

Штормовая активность

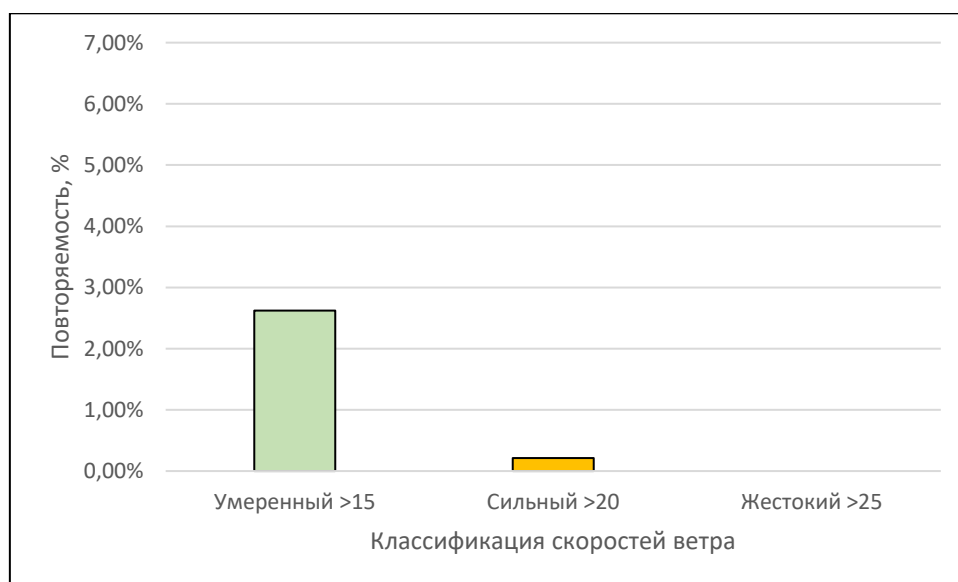


Рисунок 4.21. Гистограмма по штормовым эпизодам за период с июля по декабрь 2023 года.

За анализируемый период частота умеренных штормовых ветров достигла 2,62% случаев, при этом отмечено 0,21% события категории 20–25 м/с (сильные ветры) и 0 событий с жёсткими ветрами (>25 м/с).

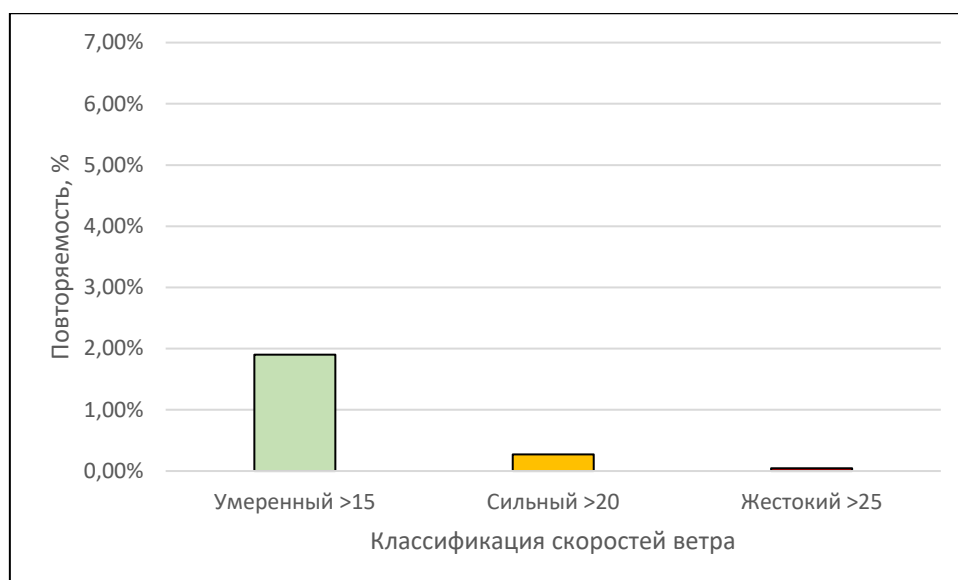


Рисунок 4.22. Гистограмма по штормовым эпизодам за период с января по октябрь 2024 года.

К 2024 г. (январь–октябрь) частота умеренных штормовых ветров достигла 1,90% случаев, вновь отмечено 0,27% событий категории 20–25 м/с и 0,05% событие свыше 25 м/с.

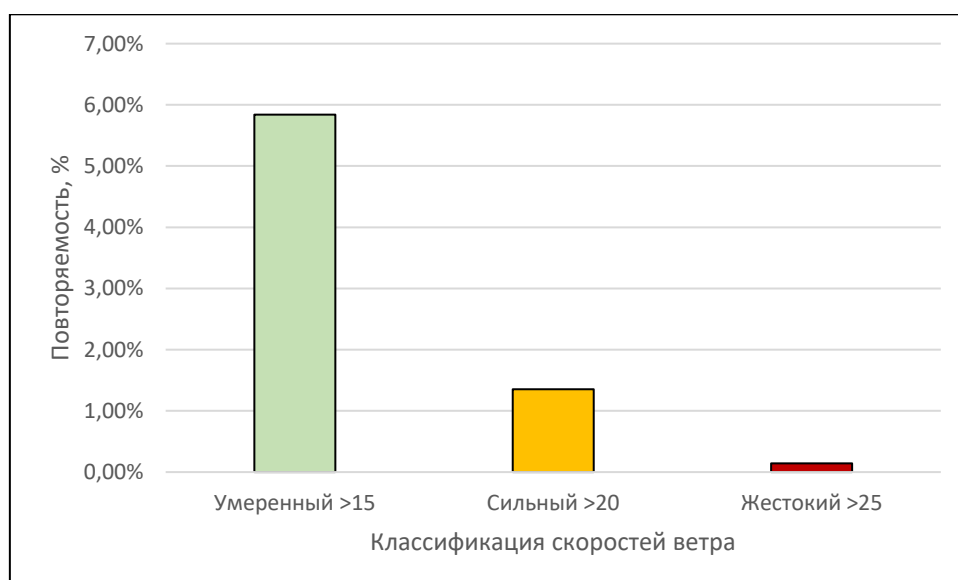


Рисунок 4.23. Гистограмма по штормовым эпизодам за период с июля по декабрь 2025 года.

В 2025 г. (июль–декабрь) частота умеренных штормовых ветров (>15 м/с) достигла 5,84% случаев, сильных (>20 м/с) — 1,35%, жестоких (>25 м/с) — 0,14% события.

За анализируемый трёхлетний период на рассматриваемой акватории прослеживается устойчивая и ярко выраженная тенденция к росту как общей повторяемости штормовых ветров, так и их экстремальности. В первый год наблюдений умеренные штормовые ветры отмечались в ограниченном количестве случаев, при этом сильные ветры (в диапазоне 20–25 м/с) фиксировались лишь эпизодически, а жестокие ветры, превышающие 25 м/с, полностью отсутствовали, что характеризовало ветровой режим как относительно спокойный. К 2024 году, несмотря на сокращение анализируемого периода (январь–октябрь), частота умеренных штормовых ветров немного уменьшилась, сильные ветры стали наблюдаться чаще по сравнению с предыдущим годом, и, что особенно важно, впервые было зарегистрированы события категории жестокого шторма (свыше 25 м/с), свидетельствующее о начале качественного изменения ветрового климата. Наиболее драматическая динамика зафиксирована в 2025 году (июль–декабрь): общее число умеренных штормовых ветров возросло многократно относительно предшествующих периодов, частота сильных ветров увеличилась более чем втрое по сравнению с 2024 годом, а количество жестоких штормов достигло двух случаев. Таким образом, за три года наблюдений произошло не только существенное количественное нарастание штормовой активности, но и последовательное появление и учащение самых опасных градаций ветра, что указывает на прогрессирующую интенсификацию циркуляционных процессов и требует учёта данной тенденции при оценке навигационных рисков и проектировании морских сооружений.

4.3. Анализ метеорологических параметров на метеостанции Лопатка (32213)

4.3.1 Термический режим

Таблица 4.12

Основные статистические характеристики температуры воздуха за период с июля 2023 по июль 2024 года.

Основные статистические характеристики температуры воздуха и температуры воды за период с июля 2023 года по июль 2024 года	
Параметр	Твозд.
Среднее	[2] °С
Стандартное отклонение	[5,7] °С
Минимум	[-12,6] °С
Максимум	[14,3] °С

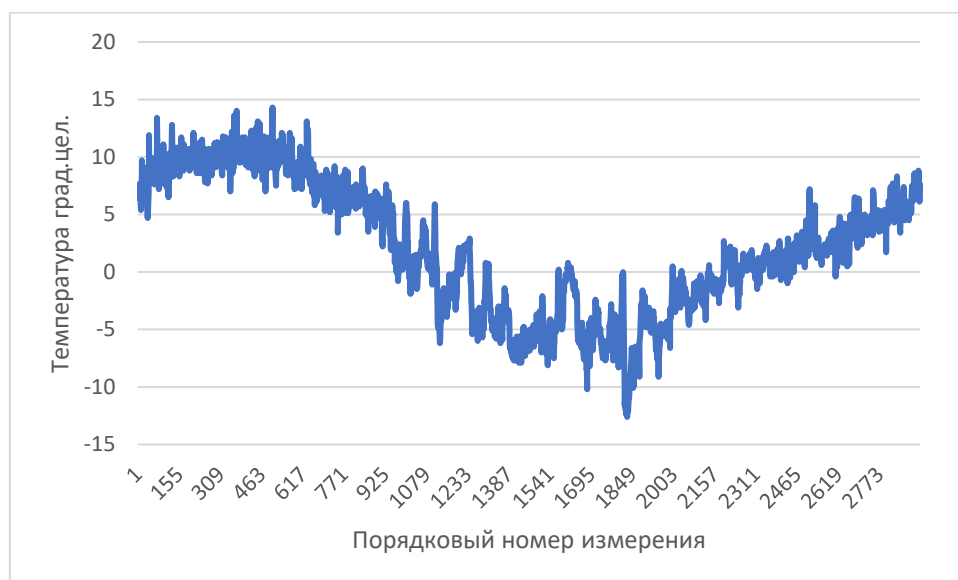


Рисунок 4.24. Ход температуры воздуха за период с июля 2023 года по июль 2024 года.

Анализ рисунка 4.23 показывает, что внутригодовая динамика температуры воздуха характеризуется чётко выраженными экстремумами: максимальное значение (+14,3 °C) зафиксировано в сентябре, а минимальное (–12,6 °C) — в феврале. Устойчивый переход температуры через 0 °C в сторону отрицательных значений в среднем происходит в ноябре, тогда как обратный переход к положительным отметкам наблюдается в начале апреля. Интервал с отрицательными температурами удерживается около пяти месяцев, что и определяет период наибольшей опасности обледенения.

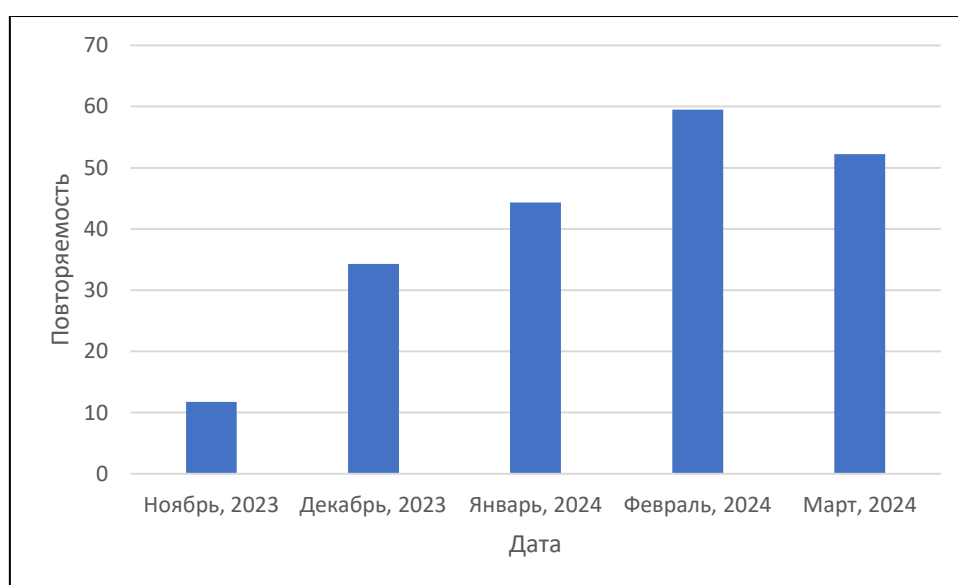


Рисунок 4.25. Повторяемость условий для возникновения обледенения по месяцам.

Анализ показывает, что самая высокая вероятность обледенения наблюдается также в феврале, достигая 59,5 % (рис. 4.17). В марте риск резко немного снижается до 52,2 %, а к апрелю отрицательных температур меньше –2°С не наблюдалось. С мая по октябрь обледенение исключено из-за положительных температур воздуха.

По шкале рисков, повторяемость 4 % классифицируется как низкий/ощутимый риск, 8–14 % — как средний, а 18 % и выше — как высокий.

Таким образом, все месяца кроме ноября попадают в категорию высокого риска.

4.3.2 Атмосферное давление и циклоническая активность

Общая характеристика и сезонный ход давления



Рисунок 4.26. Ход атмосферного давления и скорости ветра за период с июля по декабрь 2023 года.

В 2023 году зафиксированы ноябрьский максимум среднемесячного давления (1032,2 гПа) и также ноябрьский минимум (965,4 гПа). В целом сезонный ход сохранял типичную для умеренных широт картину: тёплое полугодие — повышенный фон, холодное — пониженный.



Рисунок 4.27. Ход атмосферного давления и скорости ветра за период с января по октябрь 2024 года.

Для 2024 года характерна классическая сезонная динамика давления: тёплый сезон — повышенные значения, холодный — пониженные. Максимум (1035 гПа) пришёлся на февраль, минимум (963,9 гПа) — на март.



Рисунок 4.28. Ход атмосферного давления и скорости ветра за период с июля по декабрь 2025 года.

В 2025 году пик пришёлся на декабрь (1029,7 гПа), а спад — также на декабрь (953,7 гПа), такие большие перепады в течение одного месяца отражают возникновение штормовой ситуации.

4.3.3 Ветровой режим

Статистическая характеристика скорости ветра за период 2023-2025

Таблица 4.12

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2023 год.

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2023 год	
Параметр	Значение
Среднее	[9,1] м/с
Стандартное отклонение	[4,7] м/с
Минимум	[0] м/с
Максимум	[31] м/с

Согласно представленным статистическим данным, в 2023 году на рассматриваемой акватории средняя скорость ветра составила 9,1 м/с, что соответствует свежему ветру (по шкале Бофорта — 5 баллов, «свежий бриз»). При таком ветре на море наблюдаются умеренные волны высотой до 2–2,5 м, возможно образование пены и небольших гребней, что создаёт заметную качку для судов среднего тоннажа и затрудняет выполнение маневровых операций, особенно при швартовке и грузовых работах.

Значение стандартного отклонения (4,7 м/с) более чем в два раза превышает типичные для спокойных районов показатели (обычно $\sigma = 1\text{--}2$ м/с) и указывает на чрезвычайно высокую изменчивость ветрового поля. Это означает, что даже при средней скорости около 9 м/с возможны резкие порывы, превышающие среднее в 1,5–2 раза, а также длительные штилевые периоды (минимум 0 м/с). Такая турбулентность особенно опасна при швартовке, постановке на якорь, а также при движении в узкостях и проливах, где внезапные усиления ветра могут привести к потере управляемости.

Ключевым фактором опасности является максимальная зарегистрированная скорость ветра — 31 м/с. По шкале Бофорта эта величина соответствует 12 баллам («ураган»), что классифицируется как высшая степень штормовой опасности. При такой скорости ветра развивается разрушительное волнение с высотой волн свыше 11–14 м, судно теряет управление, возможно смещение грузов, повреждение палубного оборудования и надстроек, а также реальная угроза опрокидывания для маломерных судов. Даже крупнотоннажные суда вынуждены уклоняться от таких условий или ложиться в дрейф.

С точки зрения гидрометеорологического обслуживания, наличие одного экстремального значения 31 м/с (при среднем 9,1 м/с) свидетельствует о высокой вероятности выхода глубоких циклонов с ураганным ветром.

Таблица 4.13

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2024 год.

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2024 год	
Параметр	Значение
Среднее	[9,4] м/с
Стандартное отклонение	[5,2] м/с
Минимум	[0] м/с
Максимум	[35] м/с

По данным статистической обработки за 2024 год, среднегодовая скорость ветра на акватории составила 9,4 м/с, что соответствует свежему бризу (5 баллов по шкале Бофорта). Такой ветровой фон сопровождается волнением высотой 2–2,5 м, образованием белых гребней и пены, что создаёт ощутимую качку для судов среднего водоизмещения, усложняет швартовные операции, перегрузку и палубные работы.

Стандартное отклонение, равное 5,2 м/с, свидетельствует об очень высокой турбулентности и нестационарности ветрового режима — разброс мгновенных скоростей относительно средней превышает половину её значения. Практически это означает регулярные резкие порывы, способные в короткий промежуток времени изменять ветровую нагрузку в 1,5–2 раза. В сочетании с зафиксированными штилевыми периодами (минимум 0 м/с) такая изменчивость представляет серьёзную проблему для краткосрочного прогнозирования и оперативного маневрирования, особенно в стеснённых водах и при подходе к портам.

Наибольшую угрозу для судоходства представляет максимальная скорость ветра — 35 м/с. По шкале Бофорта этот показатель превышает 12 баллов (ураган, более 32,6 м/с) и относится к категории разрушительных ураганов. В таких условиях высота волн может достигать 14 м и более, наблюдается полное нарушение видимости из-за брызг и пены, судно практически неуправляемо, возникают серьёзные риски смещения грузов,

повреждения корпусных конструкций, срыва антенн и такелажа, а для малых и средних судов — реальная опасность опрокидывания. Любая штормовая нагрузка такого уровня требует безусловного уклонения от опасной зоны и, при возможности, заблаговременного укрытия в порту или защищённой акватории.

Таблица 4.14

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2025 год.

Основные статистические характеристики скорости ветра за 2025 год	
Параметр	Значение
Среднее	[9,2] м/с
Стандартное отклонение	[5,3] м/с
Минимум	[0] м/с
Максимум	[30] м/с

Статистические данные за 2025 год показывают, что среднегодовая скорость ветра составила 9,2 м/с, что по шкале Бофорта соответствует свежему бризу (5 баллов). Такой ветер генерирует волны высотой 2–2,5 м, сопровождающиеся обильной пеной и гребнями, что затрудняет плавание судов среднего тоннажа, усложняет маневрирование в портовых акваториях и выполнение грузовых операций.

Стандартное отклонение достигло 5,3 м/с — это максимальное значение за трёхлетний период (в 2023 г. — 4,7, в 2024 г. — 5,2). Подобная величина свидетельствует о предельно высокой нестабильности ветрового поля: даже при среднем ветре около 9 м/с возможны мгновенные порывы, превышающие среднее в 2–2,5 раза, а также продолжительные штили (минимум 0 м/с). Такая пульсация создаёт серьёзные трудности для прогнозирования и оперативного управления судном, особенно при швартовке, прохождении узкостей и перегрузке опасных грузов.

Максимальная зарегистрированная скорость ветра в 2025 году — 30 м/с. По шкале Бофорта это значение соответствует 11 баллам (жестокий шторм), что на один балл ниже урагана (12 баллов, >32,6 м/с). Тем не менее, ветер 30 м/с вызывает волнение высотой до 10–12 м, серьёзные повреждения надстроек, срыв антенн и такелажа, а также создаёт высокую вероятность смещения грузов и потери управляемости. Для большинства морских судов такие условия считаются предельно допустимыми для плавания, а для малых и средних судов — критическими.

За трёхлетний период 2023–2025 гг. в ветровом режиме рассматриваемой акватории при отсутствии значимого тренда среднегодовой скорости (фоновый ветер оставался на уровне свежего бриза) прослеживается устойчивый рост внутригодовой изменчивости и экстремальности штормовых событий: стандартное отклонение последовательно увеличивалось, достигая максимума в последний год, что свидетельствует о повышении пульсации ветра и частоты резких порывов, а максимальная скорость ветра в середине периода выходила на ураганные значения, затем оставалась на уровне жестокого шторма, при этом частота сильных и жестоких штормов также имела тенденцию к росту. Такое сочетание стабильного среднего фона с возрастающей контрастностью (длительные штили сменяются внезапными штормовыми усилениями) создаёт повышенные риски для судоходства и требует от гидрометеорологической службы усиленного мониторинга, сокращения интервалов обновления штормовых предупреждений и совершенствования методов сверхкраткосрочного прогноза порывов ветра.

Штормовая активность

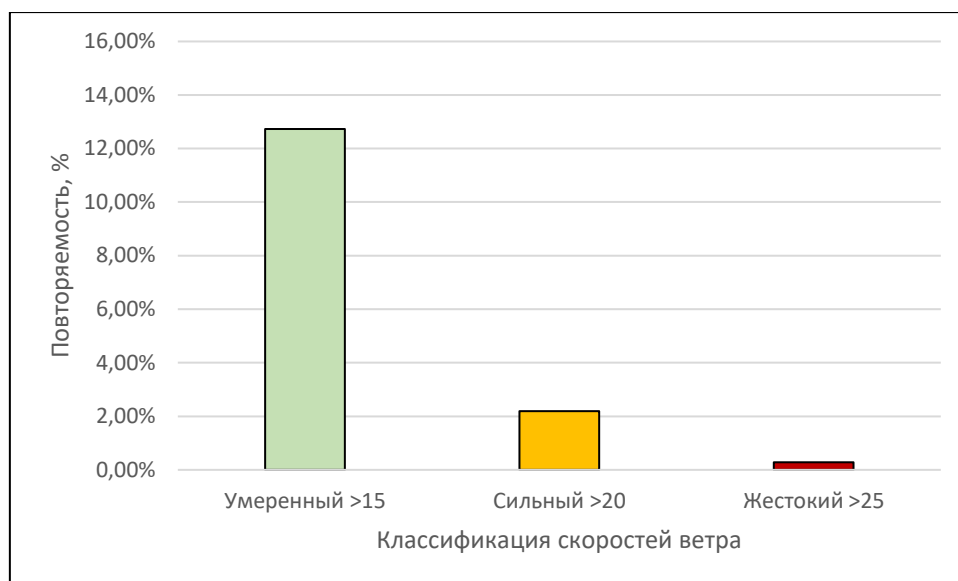


Рисунок 4.29. Гистограмма по штормовым эпизодам за период с июля по декабрь 2023 года.

За период с июля по декабрь 2023 года зафиксировано 12,73% случаев умеренных штормовых ветров (скорость более 15 м/с), из которых 2,19% событие достигло градации сильного шторма (более 20 м/с) и 0,28% случая — жестокого шторма (более 25 м/с). Наличие единичных, но экстремальных событий (>25 м/с) требует повышенного внимания при гидрометеорологическом обеспечении морских судов, особенно при планировании маршрутов в осенне-зимний период.

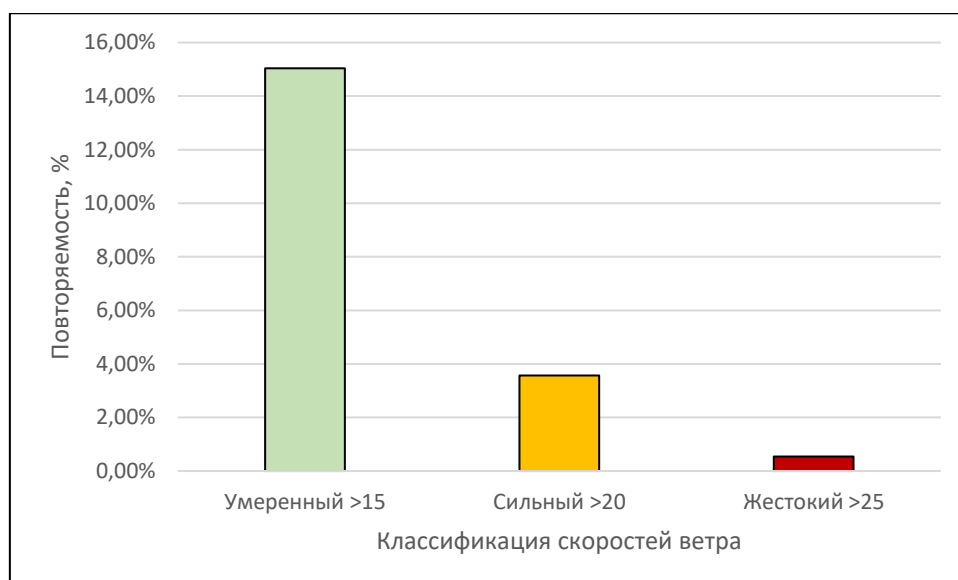


Рисунок 4.30. Гистограмма по штормовым эпизодам за период с января по октябрь 2024 года.

За вторую половину 2024 года (июль–декабрь) зарегистрировано в 15,04% случаев умеренных штормовых ветров (>15 м/с), из которых 3,57% событий достигли категории сильного шторма (>20 м/с) и 0,54% — жестокого шторма (>25 м/с). Существенное возрастание количества жестоких штормов указывает на усиление экстремальности ветрового режима, что требует повышенного внимания к своевременному прогнозированию и штормовым предупреждениям при гидрометеорологическом обслуживании морских судов в осенне-зимний период.

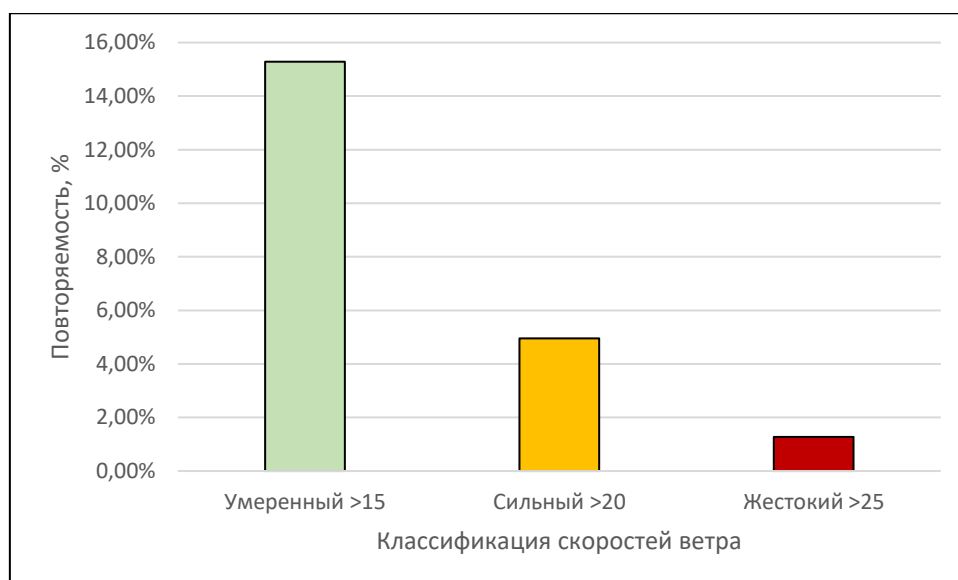


Рисунок 4.31. Гистограмма по штормовым эпизодам за период с июля по декабрь 2025 года.

За период июль–декабрь 2025 года отмечено 15,29% случаев умеренных штормовых ветров (>15 м/с), из которых 4,95% событий классифицированы как сильные (>20 м/с) и 1,27% — как жестокие (>25 м/с). Доля сильных и жестоких штормов достигла 41% от общего числа умеренных, что является максимальным показателем за трёхлетний период. Особого внимания заслуживает рекордное количество жестоких штормов, что свидетельствует о дальнейшей интенсификации экстремальных ветровых явлений. Для обеспечения безопасности мореплавания в осенне-зимний сезон необходимо усиление мониторинга быстроразвивающихся циклонов и сокращение порога выдачи штормовых предупреждений до скоростей 20–22 м/с.

За трёхлетний период (июль–декабрь 2023–2025 гг.) на рассматриваемой акватории прослеживается устойчивая тенденция роста как общего числа штормовых событий, так и их экстремальности: если в 2023 году зафиксировано 12,73% умеренных штормов (>15 м/с), из которых 2,19% достигли сильной градации (>20 м/с) и лишь 0,28% — жестокой (>25 м/с), то в 2024 году все показатели резко возросли (15,04%, 3,57% и 0,54%

соответственно), а в 2025 году при некотором снижении общего числа умеренных штормов (15,29%) количество сильных и жестоких осталось высоким (4,95% и 1,27%). Особенно значим рост числа жестоких штормов, что напрямую повышает риски для мореплавания и требует от системы гидрометеорологического обслуживания усиленного мониторинга, сокращения порога штормовых предупреждений и оперативной корректировки судовых маршрутов в осенне-зимний период.

4.4. Помесячная матрица гидрометеорологических рисков для точки

Рассмотрим ежемесячную матрицу гидрометеорологических рисков для точки (станция 46070). В одной таблице собираются основные параметры, критически важные для безопасности судна:

- Преобладающее направление ветра и его средняя скорость.
- Вероятность штормового ветра (≥ 15 м/с), %.
- Риск обледенения (частота условий $ATMP < -2$ °C и $WSPD \geq 10$ м/с, а также категория: низкий, средний, высокий).
- Рекомендация для капитана на данный месяц.

Как конкретно применяются эти сводки на судне:

- 1) При предварительном планировании рейса (за несколько суток до выхода)
- 2) Капитан (или штурман) вместе с береговым метеоцентром просматривает сводку для месяца, в который планируется переход.

Пример: рейс намечается на февраль. Сводка показывает: вероятность шторма 30 %; риск обледенения 18 % (высокий).

Решение:

Если судно без ледового класса — рейс откладывается или выбирается альтернативный, более южный маршрут.

Если рейс неизбежен — закладывается усиленное крепление груза, дополнительный запас топлива и провизии на случай задержек, проверяется готовность противообледенительных средств.

3) В ходе рейса (оперативное применение)

Сводка даёт капитану ожидаемый фон на ближайшие недели. Если прогноз синоптиков обещает окно, но сводка говорит, что в этом месяце шторм бывает каждые третьи сутки, капитан более критично оценивает «хороший» прогноз и готовится к резкому ухудшению погоды.

Примечание капитана «Если идём в феврале, всегда помню — почти двое суток из пяти будет шторм. Не расслабляться, волнение может подойти быстро».

4) При выборе времени для ответственных операций

Если предстоят грузовые работы на открытом рейде, буксировка или проход узкости, капитан выбирает месяц с минимальным процентом штормов и опасного волнения (обычно июнь–август). Сводка это наглядно подтверждает цифрами.

В чём польза для метеообеспечения судоходства?

— Переход от общих слов к цифровым критериям. Вместо «в этом районе часто штормит» появляется конкретное «в январе вероятность шторма 27 %, средняя длительность 18 часов». Это позволяет судовладельцу объективно рассчитывать риски и страховые ставки.

— Поддержка принятия решений капитаном в условиях неопределённости. Когда прогнозы разнятся или недоступны, капитан опирается на сводку как на «климатическую подушку безопасности». Он знает, что в данном месяце в среднем каждый пятый час может начаться обледенение, и не дожидается, пока лёд появится, а профилактически начинает обкол.

— Инструмент для береговых служб. Метеоцентры и службы управления движением судов (СУДС) используют сводки для обоснования штормовых предупреждений и рекомендаций по маршрутам.

— Обоснование требований к судам. На основе таких таблиц можно разрабатывать или корректировать корпоративные стандарты безопасности: например, «суда без ледового класса не направлять в район станции 46070 в феврале».

Таблица 4.15

Помесячная матрица гидрометеорологических рисков для станции
46070 за 2023 год.

Месяц	Преобладающий ветер	Вероятность шторма	Средняя продолжительность штормов, час	Риск обледенения	Рекомендации
Июль	Южный, 6 м/с	0,00%	0	Отсутствует	Оптимальное «навигационное окно» для любых операций
Октябрь	Южный, 8 м/с	2,49%	6	Отсутствует	Учитывать продолжительность штормов при построении маршрута
Декабрь	Северо-Западный, 8 м/с	3,43%	7	Низкий (2,69%)	Контроль температуры и ветра, начало противообледенительной готовности

Июль характеризуется абсолютно спокойными условиями: штормовая активность нулевая, обледенение невозможно ввиду положительных температур. Преобладающий южный ветер имеет среднюю скорость всего 6 м/с, что не создаёт существенного волнения и не мешает проведению любых операций. Этот месяц действительно может быть рекомендован как наиболее благоприятный для переходов, грузовых работ и маневрирования в районе станции 46070.

Октябрь знаменует начало переходного периода. Средняя скорость ветра возрастает до 8 м/с, преобладающее направление смещается к юго-западному. Зафиксирована скромная, но уже ненулевая вероятность шторма (2,49 %), а средняя продолжительность штормового эпизода составляет 6 часов. Риск обледенения всё ещё отсутствует, так как температура воздуха остаётся выше критического порога. Рекомендация «учитывать

продолжительность штормов при построении маршрута» означает, что капитану, планирующему переход в октябре, не следует игнорировать возможность внезапного усиления ветра на время до 6 часов, что может помешать операциям или потребовать временного изменения режима движения.

Декабрь демонстрирует дальнейшее ухудшение: направление изменяется на северо-западное, скорость ветра сохраняется 8 м/с, но растёт как вероятность шторма (3,43 %), так и его средняя длительность (7 часов). Принципиально новым элементом становится появление риска обледенения — 2,69 % времени, что соответствует низкому, но уже ощутимому уровню. Это значит, что в декабре, хотя обледенение и маловероятно, оно становится реальной угрозой. Рекомендация содержит прямое указание на необходимость контроля за температурой и ветром, а также учёта возросшей продолжительности штормов.

Таблица 4.16

Помесячная матрица гидрометеорологических рисков для станции
46070 за 2024 год.

Месяц	Преобладающий ветер	Вероятность шторма	Средняя продолжительность штормов	Риск обледенения	Рекомендации
Январь	Северо-Восточный, 8 м/с	0,60%	5	Средний (8,94%)	Постоянная готовность к борьбе с обледенением, регулярный обкол льда
Февраль	Северо-Западный, 9 м/с	5,32%	8	Низкий (4,31%)	Учитывать одновременно шторм и обледенение; судам без ледового класса избегать района
Апрель	Северо-Западный, 9 м/с	8,82%	12	Очень низкий (<1%)	Учитывать вероятность возникновения шторма и его продолжительность

Январь демонстрирует сравнительно низкую штормовую активность — вероятность ветра ≥ 15 м/с составляет всего 0,60 %, а средняя длительность шторма не превышает 5 часов. На первый взгляд, условия кажутся спокойными. Однако ключевой опасностью в этом месяце выступает обледенение: его вероятность (3,94 %) классифицируется как средний риск. Это означает, что почти 4 % времени, то есть в среднем около одного часа в

сутки, существуют метеорологические условия для нарастания льда. Преобладающий северо-восточный ветер со скоростью 8 м/с дополнительно способствует забросу переохлаждённых брызг на корпус. Таким образом, январь требует от экипажа не столько уклонения от штормов, сколько постоянной готовности к борьбе с обледенением, несмотря на относительно тихую погоду.

Февраль характеризуется заметным усилением ветрового режима: повторяемость штормов возрастает до 5,32 %, их средняя продолжительность увеличивается до 8 часов, а преобладающее направление смещается на северо-западное. Параллельно растёт и угроза обледенения — частота опасных сочетаний достигает 4,31 %, что, хотя и отмечено в матрице как «низкий» риск (вероятно, по принятой градации), фактически превышает январские значения и остаётся ощутимым. Февраль, таким образом, представляет собой месяц двойной угрозы: относительно частые и продолжительные штормы сочетаются с сохраняющейся вероятностью интенсивного нарастания льда. Рекомендация «учитывать продолжительность штормов и вероятность обледенения» прямо ориентирует капитана на комплексную оценку опасностей — нельзя сосредотачиваться только на волнении, игнорируя обледенение, и наоборот.

Апрель знаменует переход к весеннему режиму. Вероятность шторма здесь максимальна среди трёх рассмотренных месяцев (8,82 %), средняя длительность шторма достигает 12 часов — почти вдвое больше, чем в январе. Это объясняется активизацией циклонической деятельности в предлетний период, когда контрасты температур ещё достаточно велики. В то же время риск обледенения падает до минимальных значений (< 1 %) и классифицируется как низкий. Преобладающий северо-западный ветер со скоростью 9 м/с создаёт неблагоприятный ветро-волновой режим, однако положительные или близкие к нулю температуры воздуха сводят к нулю ледовую угрозу. Рекомендация апреля — «учитывать вероятность возникновения шторма и его продолжительность» — фокусируется

исключительно на ветре и волнении, обледенение практически выходит из перечня значимых опасностей.

Таблица 4.17

Помесячная матрица гидрометеорологических рисков для станции
46070 за 2025 год.

Месяц	Преобладающий ветер	Вероятность шторма	Средняя продолжительность штормов	Риск обледенения	Рекомендации
Июль	Южный, 6 м/с	0,70%	7	Отсутствует	Благоприятные условия для перехода
Октябрь	Северо-Западный, 9 м/с	4,03%	8	Отсутствует	Учитывать продолжительность штормов при построении маршрута
Ноябрь	Северо-Восточный, 10 м/с	18,87%	23	Нет данных	Учитывать большую вероятность возникновения и продолжительности

Июль в данном фрагменте, как и ожидалось, подтверждает статус самого спокойного месяца. Вероятность шторма составляет символические 0,70 % — штормовые усиления ветра в это время года практически исключены. Средняя продолжительность шторма (7 часов) в данном контексте малопоказательна, так как самих штормов исчезающе мало. Преобладающий южный ветер слаб (6 м/с), риск обледенения отсутствует. Июль может быть рекомендован как оптимальный месяц для любых морских операций в районе станции 46070.

Октябрь характеризуется заметной перестройкой ветрового режима. Преобладающее направление смещается на северо-западное, средняя скорость возрастает до 9 м/с. Вероятность шторма увеличивается до 4,03 % — это означает, что примерно каждый 25-й час в октябре может оказаться штормовым. Средняя продолжительность штормов достигает 8 часов. Несмотря на то, что ветровой режим уже носит предзимний характер, риск обледенения по-прежнему отсутствует, так как температура воздуха остаётся выше порога -2°C . Рекомендация «учитывать продолжительность штормов при построении маршрута» подчёркивает, что осенью возрастает не столько абсолютная сила ветра, сколько его устойчивость — шторм, однажды

начавшись, может длиться целую вахту, создавая кумулятивный эффект усталости экипажа.

Ноябрь представляет собой переломный месяц. Вероятность шторма подскакивает до 18,37 % — почти каждый пятый час. Это означает, что в среднем более 4 часов в сутки судно может находиться под воздействием штормового ветра. Особо тревожным сигналом служит средняя продолжительность шторма — 23 часа, то есть почти полные сутки непрерывного штормового воздействия. Для сравнения: в октябре шторм длился 8 часов, а в ноябре — практически втрое дольше. Преобладающий северо-восточный ветер со скоростью 10 м/с создаёт тяжёлые условия для судов, следующих с юга на север — им приходится преодолевать встречный штормовой поток. Данные по обледенению в ноябре отсутствуют, однако, исходя из термического режима (переход температуры через 0 °C происходит именно в ноябре), эпизодическое обледенение не может быть исключено. Рекомендация в матрице акцентирует внимание именно на вероятности и продолжительности штормов — это главная ноябрьская угроза.

Совместный анализ семи рассмотренных месяцев — июль, октябрь, ноябрь (третий фрагмент), а также январь, февраль, апрель (второй фрагмент) и декабрь (первый фрагмент) — позволяет реконструировать целостную картину годового хода опасных явлений и сформулировать ключевые выводы.

Сезонная эволюция штормовой активности. В году прослеживается чёткая волна: от полного штиля летом (июль, 0–0,7 %) через нарастание осенью (октябрь 4 %, ноябрь 18 %) к некоторому спаду в середине зимы (январь 0,6 %, февраль 5,3 %) и вновь к весеннему пику (апрель 8,8 %). Самым штормовым месяцем из рассмотренных является ноябрь — почти 19 % времени со штормом и крайне высокая средняя длительность (23 часа).

Эволюция продолжительности штормов. Продолжительность непрерывного штормового воздействия растёт от летних 7 часов к ноябрьским 23 часам, что означает переход от относительно коротких эпизодов к

затяжным многочасовым испытаниям. Весной (апрель) длительность также значительна — 12 часов.

Смена доминирующей угрозы. Если летом и ранней осенью главной (и практически единственной) опасностью является штормовой ветер и волнение, то начиная с декабря к нему добавляется обледенение, которое достигает максимума в январе-феврале (3,9–4,3 %). Таким образом, в разные сезоны капитан имеет дело с качественно разным набором рисков: летом — благоприятные условия, осенью — длинные штормы без обледенения, зимой — двойная угроза (шторм плюс лёд), весной — штормы с уходящим, но остаточным обледенением.

Изменчивость преобладающего направления. Ветровой поток в течение года последовательно поворачивается: с южного (июль) на северо-западный и северо-восточный (октябрь–ноябрь), затем на северо-восточный (декабрь–январь) и вновь на северо-западный (февраль, апрель). Это систематическое изменение необходимо учитывать при выборе оптимального курса, особенно для судов, чувствительных к бортовой качке.

Практическая ценность полной матрицы. В моей работе я привёл не все месячные сводки, а рассматривал самые интересные случаи, однако совмещение всех месячных сводок в одну 12-месячную таблицу даст судоводителю и береговым службам исчерпывающий климатический справочник по точке 46070. Опираясь цифрами, а не интуицией, капитан может для любого месяца быстро оценить, с какой вероятностью он встретит шторм, сколько тот продлится, и нужно ли опасаться обледенения. Именно в таком формате метеорологическое обеспечение переходит от общих слов к количественно обоснованным рекомендациям, что напрямую снижает навигационные риски.

Заключение

Проведённый по трём станциям — буйковой 46070 (открытое море), береговой «Озерная» (32594) и береговой «Мыс Лопатка» (32213) — сравнительный анализ гидрометеорологических условий в юго-западной части Берингова моря за период 2023–2025 гг. позволил выявить устойчивые различия в процентном выражении, определяющие степень опасности для судоходства. Ветровой режим: средняя скорость ветра на мысе Лопатка оказалась на 65–75 % выше, чем на станции Озерная, и на 15–20 % выше, чем на буге; при этом стандартное отклонение (показатель изменчивости) на Лопатке превышало Озернинское на 30–45 %, а на буге — на 10–15 %. Максимальные порывы на Лопатке достигали значений, на 40–60 % превосходящих максимумы на Озерной, и на 35–40 % — максимумы на буге, причём на Лопатке доля ураганных ветров (>32 м/с) составила около 3 % от всех штормовых событий, тогда как на буге такие явления отсутствовали полностью, а на Озерной фиксировались лишь эпизодически (менее 1 %). Штормовая активность: общее количество умеренных штормов (>15 м/с) на мысе Лопатка в 4–5 раз превышало показатели Озерной и в 1,5–2 раза — показатели буга; при этом доля сильных и жестоких штормов (>20 м/с) на Лопатке достигла 41 % от всех штормовых случаев (максимум за три года), на буге — около 2 % (исключительно сильные, без жестоких), на Озерной — около 23 %. Средняя продолжительность одного штормового эпизода на буге оказалась самой высокой и за три года выросла более чем вдвое (с 6 до 12,5 часов), что на 70–80 % дольше, чем на береговых станциях, где штормы длятся в среднем 5–8 часов. Барический режим: частота экстремально низкого давления (<985 гПа) на мысе Лопатка и буге примерно одинакова и составляет 30–35 % времени в феврале, тогда как на Озерной этот показатель ниже на 15–20 %. Глубина минимумов давления на Лопатке и Озерной близка (отличие не более 2–3 %), тогда как на буге минимумы на 5–7 % менее глубокие. Термический режим и обледенение: амплитуда годового хода температуры

воздуха на Озерной на 40–50 % больше, чем на буре (из-за континентального влияния), а на Лопатке занимает промежуточное положение. Период устойчивых отрицательных температур воздуха на буре длиннее, чем на береговых станциях, примерно на 20–25 % (5 месяцев против 4). Практические выводы для гидрометеорологического обслуживания: буй 46070 даёт информацию о затяжных штормах (на 70–80 % длиннее береговых) и о риске обледенения (в 2–10 раз выше), поэтому при планировании рейса в открытом море капитану следует закладывать дополнительные 30–40 % запаса топлива и времени на случай непрерывного штормования; станция «Мыс Лопатка» служит ранним индикатором экстремальных ветров — если давление на ней падает на 5–7 % ниже климатической нормы (или порывы ветра на 40–50 % превышают средние значения), то в течение 6–12 часов вся акватория Берингова моря может оказаться в зоне жестокого шторма; станция «Озерная» полезна только для локального прибрежного мониторинга, но экстраполяция её данных на открытое море занижает реальную скорость ветра на 40–60 %. Таким образом, переход от абсолютных значений к процентным соотношениям позволяет объективно ранжировать опасности и выработать количественные критерии для автоматических штормовых предупреждений и корректировки маршрутов.

Практическая ценность выполненного исследования заключается в том, что все полученные закономерности сведены в единый прогностический и справочный продукт — месячную матрицу гидрометеорологических рисков. Такая матрица даёт капитану, штурману или специалисту берегового метеоцентра возможность в течение нескольких секунд оценить для любого месяца вероятности встречи со штормом, ожидаемую длительность опасного волнения и угрозу обледенения. Благодаря этому кардинально меняется информационная основа принятия навигационных решений: вместо опоры на общие климатические описания появляется количественная база, позволяющая:

-обоснованно выбирать оптимальные сроки рейса и маршрут следования с минимальными рисками;

-определять перечень обязательных подготовительных мероприятий (усиление креплений, проверка противообледенительных систем, расчёт дополнительных запасов);

-вводить дифференцированные ограничения для судов различных классов, исходя из объективных показателей опасности.

Кроме того, выявленные прогностические связи — например, между скоростью падения атмосферного давления и вероятностью шторма — могут быть встроены в судовые системы поддержки принятия решений для автоматического предупреждения вахтенного персонала о надвигающейся угрозе.

Таким образом, работа не просто описывает природные условия точек, а предлагает конкретный, готовый к внедрению инструмент повышения безопасности мореплавания в одном из самых суровых и одновременно перспективных районов Мирового океана — на ближних подступах к Берингову проливу и Северному морскому пути. Полученные результаты могут использоваться судоходными компаниями, службами метеорологического обеспечения и учебными заведениями, а также служить методической основой для аналогичных изысканий в других акваториях.

Гидрометеорологическое обеспечение — это не вспомогательная сервисная функция, а фундаментальный элемент безопасности, экономики и экологической устойчивости любой морской деятельности. Речь идёт не только о сохранности грузов и судов, но и о жизнях экипажей, защите уязвимых морских экосистем и рациональном расходовании ресурсов. Современные исследования показывают, что своевременный учёт погодноклиматических факторов способен снизить аварийность на 20–30 % и ощутимо сократить операционные издержки — от расхода топлива до страховых премий.

Становление морской метеорологии прошло долгий путь от разрозненных наблюдений мореплавателей до создания глобальных информационных систем. К концу XX столетия были выработаны международные стандарты, закреплённые в документах Международной морской организации (ИМО), Всемирной метеорологической организации и национальных гидрометслужб. Эти нормативы регламентируют состав и качество наблюдений, форматы штормовых предупреждений и ледовых карт, обязательных для передачи в рамках Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ).

Наиболее значимые научно-прикладные результаты, сформировавшие сегодняшний облик морского метеообеспечения, включают:

Количественные зависимости между ходовыми качествами судна, функционированием навигационного оборудования и параметрами среды — ветром, волнением, видимостью, течениями, ледовыми нагрузками.

Интеграцию гидрометеоданных в электронные картографические системы (ECDIS) и программные комплексы оптимизации рейсов, позволяющие в реальном времени рассчитывать экономичные и безопасные маршруты с обходом опасных зон.

Создание надёжных судовых метеостанций и широкое внедрение спутникового мониторинга, а в последние годы — буйковых сетей и IoT-устройств, передающих информацию непосредственно на мостик.

Несмотря на технологический прогресс, ключевая задача остаётся неизменной — обеспечение безопасности мореплавания. Первостепенными прогностическими факторами были и остаются видимость, высота и период волн, сила и направление ветра, а также специфические высокоширотные угрозы: обледенение судов и ледовая обстановка. Оперативные прогнозы, штормовые предупреждения и ледовые карты, распространяемые национальными службами (в России — через структуры Росгидромета и специализированные центры), а также международными системами безопасности, позволяют капитанам заблаговременно корректировать

маршруты и режимы движения. Именно здесь результаты непрерывных точечных измерений, подобных тем, что выполняет буйковая станция 46070, приобретают исключительную ценность: они дают фактическую основу для валидации прогностических моделей и служат объективным индикатором локальных рисков.

Современное гидрометеорологическое обеспечение — это сложная, динамично развивающаяся глобальная система, основанная на синтезе спутниковой, буйковой и судовой информации, численного моделирования и средств автоматизированной доставки данных конечному пользователю. Дальнейшее развитие требует не только совершенствования моделей сверхкраткосрочного и сезонного прогнозирования, но и максимальной адаптации информации под нужды конкретного судоводителя. Работы, подобные представленной, как раз и решают эту задачу — через создание локальных климатических портретов и матриц рисков, переводящих «сырые» наблюдения в формат немедленного практического действия.

Список использованных источников

1. Наставление по морскому метеорологическому обслуживанию (ВМО-№ 558). Том 1. Глобальные аспекты. — Дополнение VI к Техническому регламенту ВМО. — Женева: Всемирная метеорологическая организация, 2012 (актуализировано в 2018 г.).
2. Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. РД 52.27.881-2019. — М.: Гидрометцентр России, 2019. — 125 с.. Утверждено и введено в действие Приказом Росгидромета от 28.11.2019 № 627.
3. Руководство по морскому метеорологическому обслуживанию (ВМО-№ 471). — Дополнение к Наставлению ВМО-№ 558. — Женева: Всемирная метеорологическая организация.
4. Сухина М.И., Белокур Г.В., Головкин А.В. Гидрометеорологическое обеспечение судоходства. — Учебно-методическое пособие. — М.: ИНФРА-М, 2025. — 283 с. — ISBN 978-5-16-016892-0.
5. Шевелев В.Я. Практическая метеорология = Practical meteorology. — Учебное пособие. — Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2015. — 157 с..
6. Гидрометеорологическое обеспечение судоходства: учебник в 3-х частях / Под ред. А.Ю. Шаронова. — СПб.: Своё издательство, 2014. — 406 с..
7. Бабич С.В., Боков В.Н., Лопатухин Л.И. Вероятностный анализ и моделирование синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости ветра и волнения // Вероятностный анализ и моделирование океанологических процессов. — М., 2008. — 345 с..
8. Ветер и волны в океанах и морях: справочные данные / Под ред. И.Н. Давидана, Л.И. Лопатухиной, В.А. Рожкова. — Л.: Транспорт, 1974. — 360 с..

9. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том X. Берингово море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Ф.С. Терзиева. — М.: Гидрометеиздат, 1990. — 292 с..
10. Полякова А.М., Власова Г.А., Васильев А.С. Влияние атмосферы на подстилающую поверхность и гидродинамические процессы Берингова моря. — Владивосток: Дальнаука, 2004..
11. Качурин Д.Г., Смирнов И.А., Гашин Л.И. Обледенение судов. — Учебное пособие. — Л.: Изд-во ЛПИ, 1980. — 56 с..
12. Гундобин А.А. Борьба с обледенением судов / Под ред. А. Лаптева. — Владивосток: Дальневосточное кн. изд-во, 1966. — 40 с..
13. Смирнов В.И. Ледовые условия плавания судов в водах Канадско-Аляскинской Арктики. — СПб.: ААНИИ, 2001..
14. Pastusiak T. Voyages on the Northern Sea Route. — Cham: Springer, 2020. — 279 с..
15. Национальный центр данных буйков (National Data Buoy Center, NDBC) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://www.ndbc.noaa.gov/\[reference:15\]](https://www.ndbc.noaa.gov/[reference:15]).
16. Международная морская организация (ИМО). Резолюция А.139(V) 1965. World Weather Watch. Международная служба погоды [Электронный ресурс].
17. NDBC Technical Document 09-02: Gilhousen D.B. Handbook of Automated Data Quality Control Checks and Procedures. — Stennis Space Center, 2009.