



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

Кафедра метеорологии, экологии и природопользования

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

На тему Особенности прогноза волнения моря в прибрежной части акватории  
Черного моря от Анапы до Сочи

Исполнитель Скоробогатова Любовь Дмитриевна

Руководитель ст. преподаватель Зубарева С.А.

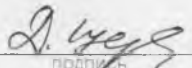
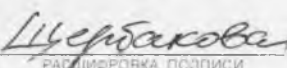
«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

«19» 06 2023 г.

Филиал Российского государственного гидрометеорологического университета в г. Туапсе	
НОРМОКОНТРОЛЬ ПРОЙДЕН	
«19» 06 2023	
 ПОДПИСЬ	 РАСШИФРОВКА ПОДПИСИ

Туапсе  
2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Особенности режима сильного волнения в прибрежной части Черного моря и методы его исследования .....	5
1.1 Физико-географическая характеристика района исследования.....	5
1.2 Методы и средства наблюдений за волнением моря .....	10
2 Синоптические условия, вызывающие волнообразующие факторы сильного волнения .....	18
2.1 Исследование волнения моря в районе от Анапы до Сочи .....	18
2.2 Связь сильного волнения с атмосферными фронтами.....	33
3 Анализ данных волнения моря и его прогноз по данным ГМБ Туапсе .....	38
3.1 Анализ волнения моря в Туапсе за период 2018-2022 гг.....	38
3.2 Анализ оправдываемости сильного волнения моря по данным ГМБ Туапсе .....	45
Заключение .....	52
Список использованной литературы.....	54

## Введение

Детальное теоретическое и экспериментальное исследование процессов ветрового волнообразования началось сравнительно недавно в сороковых годах прошлого века.

Рассматривая значимость сведений о волнении моря, особенно в прибрежной зоне, можно выделить основных потребителей: морской транспорт, портовая деятельность, рыбное хозяйство, добывающая промышленность.

Для данных потребителей важна информация в виде прогнозов о циклонической деятельности в результате которой происходит образование сильного волнения.

Сильное волнение взаимодействует с береговой линией, которая подвергается разрушению и видоизменению. Волны размывают и разрушают берега, изменяются их очертания, что представляет угрозу для находящихся близ берега построек и зданий, сокращает полезную площадь приморских городов и опасна тем, что активизирует развитие нежелательных геологических процессов, например, оползней [16, с. 235].

В результате волнения происходит перемешивание слоев моря и возможности его загрязнения на более глубоких слоях.

Среди различных видов волновых движений в море ветровые волны наиболее ярко выражены, легко наблюдаемы и поэтому наиболее изучены.

Участок прибрежной зоны Черного моря от Анапы до Сочи – район интенсивного плавания судов с ограниченной мореходностью к гидрометобеспечению которых предъявляются высокие требования, особенно к прогнозу волнения, так как в течение всего года, сильное волнение является основным элементом, определяющим возможность движения этих судов.

Местные условия оказывают влияние на особенности формирования волновой активности и формируются свои климатообразующие факторы.

На различных участках прибрежной зоны значения этих факторов различное, что не позволяет использовать в прогнозе волнения теоретические

формулы и графики, построенные для открытого моря, исходные данные ветра для которых берутся или из будущего приземного барического поля, или из типовых схем барических и ветровых полей. Каких-либо работ, посвященных сильному волнению в прибрежной зоне Кавказского побережья, в равной мере – и для других прибрежных районов акватории Черного моря – нет.

В отличие от традиционных волнообразующих факторов, используемых в теоретических исследованиях волнения, в данной работе рассматривались чисто синоптические параметры. Сильное волнение на исследуемом участке является следствием определенных синоптических условий, их распределения и последующей эволюцией в пространстве и времени.

Актуальность темы обуславливается важностью прогноза волнения моря для морского транспорта и портовой деятельности.

Объектом исследования является сильное волнение моря.

Предметом исследования выступают особенности волнения моря и его прогноз в прибрежной части акватории Черного моря от Анапы до Сочи.

Цель работы: провести исследование особенностей прогноза волнения моря в прибрежной части акватории Черного моря от Анапы до Сочи

Задачи:

- описать сущность понятия и измерения волнения;
- провести исследование условий, вызывающих сильное волнения моря в прибрежной части акватории Черного моря от Анапы до Сочи;
- провести анализ волнения моря по данным ГМБ Туапсе;
- провести анализ оправдываемости прогнозов по данным ГМБ Туапсе.

## 1 Особенности режима сильного волнения в прибрежной части Черного моря и методы его исследования

### 1.1 Физико-географическая характеристика района исследования

Почти вся береговая линия участка Анапа – Туапсе занята отрогами Главного Кавказского хребта, который начинается почти у Анапы и тянется на восток-юго-восток, постоянно повышаясь. Около Анапы высота холмов в предгорье примерно 300 метров, между Новороссийском и Геленджиком высоты достигают 600 в районе Туапсе 800-1100, юго-восточнее Туапсе 1800-2100 метров. Особенно большой высоты горы достигают в районе Сочи (более 3000 метров) [24]. Местами отрога гор вплотную подходит к берегу, образуя отвесные обрывы, террасы, склоны и выступающие в море мысы: Дооб, Толстый, Тонкий, Индокопас, Грязнова, Кодош. Берег от мыса Грязнова до мыса Кодош образует обширный плоский залив с обрывистыми покрытыми лесом склонами гор. От Туапсе до ущелья Аше линия берега почти прямая, пересеченная несколькими ущельями и широкой долиной реки Макопсе [25, с.51]

Все метеостанции, расположенные вдоль береговой черты, имеют отличия в режиме ветра, обусловленные особенностями рельефа. При одном и том же градиенте давления скорость ветра меняется в довольно значительных пределах. Ветер у поверхности Земли в каждом пункте побережья больше зависит от местных физико-географических условий, чем от общей циркуляции атмосферы [19].

Согласно исследованиям сильные ветры ( $\geq 15$  м/с) имеют наибольшую повторяемость в холодное время года. Их средняя продолжительность 6-12 часов, средняя максимальная скорость 16 метров в секунду.

По особенностям ветрового режима район Анапа – Сочи. Делится на два участка: Анапа – Джубга и Джубга – Сочи. На первом из них господствующими направлениями сильных ветров являются северо-восточные и юго-восточные, на втором – юго-восточные, что связано с направленностью берега и близостью

высокого Кавказского хребта[12, с. 48]. Новороссийская бора охватывает, в основном, район побережья только от Новороссийска до Геленджика; максимальная скорость северо-восточного ветра здесь достигает 40-50 метров в секунду. От Джубги до Туапсе, при тех же условиях скорость ветра не превышает 20 метров в секунду.

В Туапсе скорость северо-восточного ветра вновь увеличивается и иногда достигает 40 метров в секунду (так же, как и юго-восточного), но это не связано с борой, а является следствием орографии местности (ветер узкой долины).

Повторяемость сильных северо-восточных и юго-восточных ветров здесь примерно одинаковая [27, с. 158].

В Новороссийске сильного юго-восточного ветра не бывает. Число дней с сильным юго-восточным ветром в Геленджике – в 10, а в Анапе – почти в 20 раз меньше числа дней с сильным северо-восточным, что связано с другой, чем на участке Туапсе – Сочи, направленностью береговой линии.

При изучении и исследовании режима волнения и его динамики учитывают все факторы: географическое положение, характер береговой линии и глубины (рисунок 1.1).

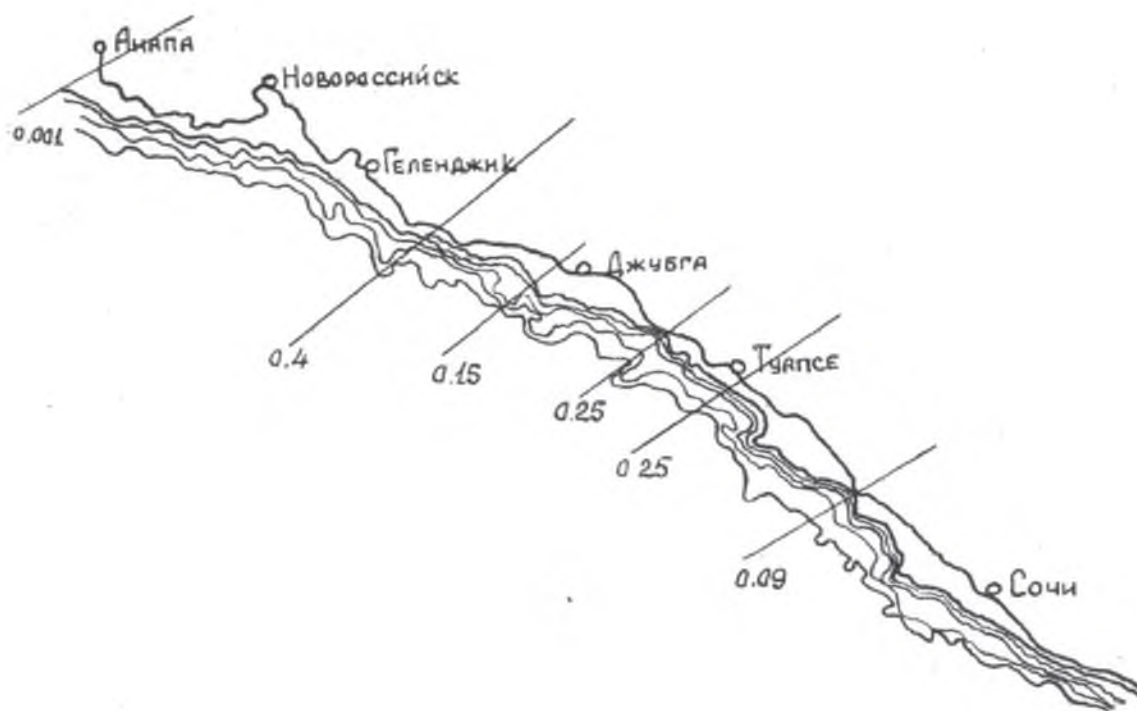


Рисунок 1.1 – Уклоны дна по маршруту на удалении от берега

Необходимо также учитывать розу ветров в районе, особенно хорошо проследить как изменяется тенденция повторяемости сильного ветра и как при этом изменяется характер волнения [13, с.211]. Такие зависимости позволяют формировать картину безопасного судоходства и развитие строительства на побережье, особенно это актуально для рекреационной зоны.

Специалисты при длительном изучении данного вопроса обнаружили тенденцию того, что однородные ветровые потоки разной интенсивности в географическом плане наблюдаются не везде и не сразу и распределены во времени. Так, например, для теплого периода года и холодного периода обнаружена большая повторяемость сильной зыби, высота которой может достигать порядка 7 метров.

Многолетняя тенденция повторяемости сильного волнения моря и зыби представлена на рисунке 1.2. и 1.3.

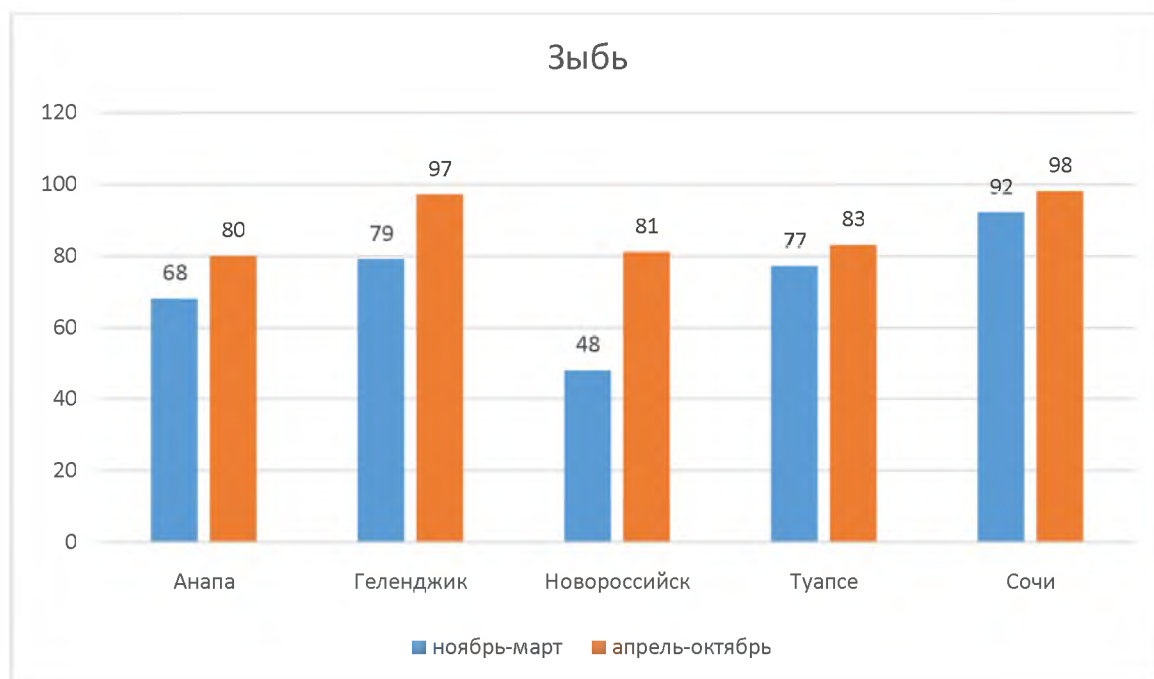


Рисунок 1.2 – Динамика сильной зыби (в %) в теплое и холодное время года за многолетний период

Графическое представление многолетней тенденции повторяемости сильного волнения моря и зыби, позволяет сделать вывод, что на участке исследования преобладает зыбрь, причем в теплый период года ее показатели

выше, показателей холодного периода года.

Результаты сильного волнения моря позволяют сделать вывод о том, что в течение холодного периода больше случаев наблюдения сильного волнения. Самые высокие показатели в Новороссийске – 52%, самые низкие в Сочи – 8%.

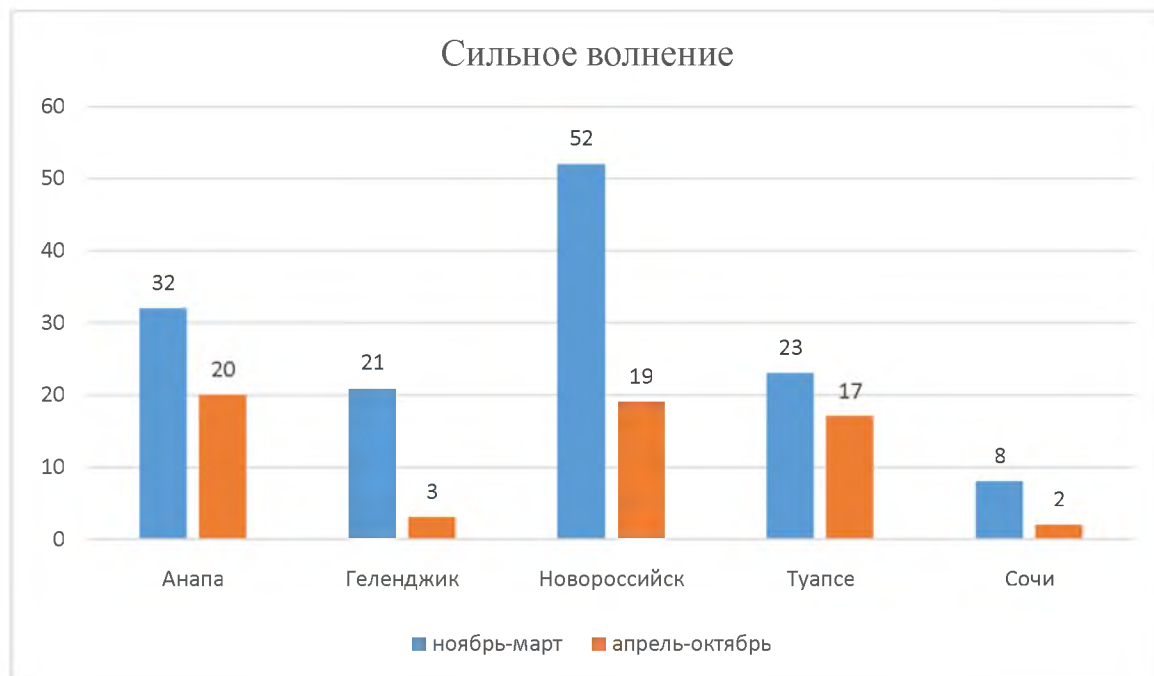


Рисунок 1.3 – Динамика сильного волнения (в %) в теплое и холодное время года за многолетний период

Рассмотрим динамику различных градаций высот зыби и ветрового волнения (в процентах) в теплое и холодное время года (рисунок 1.4-1.7).

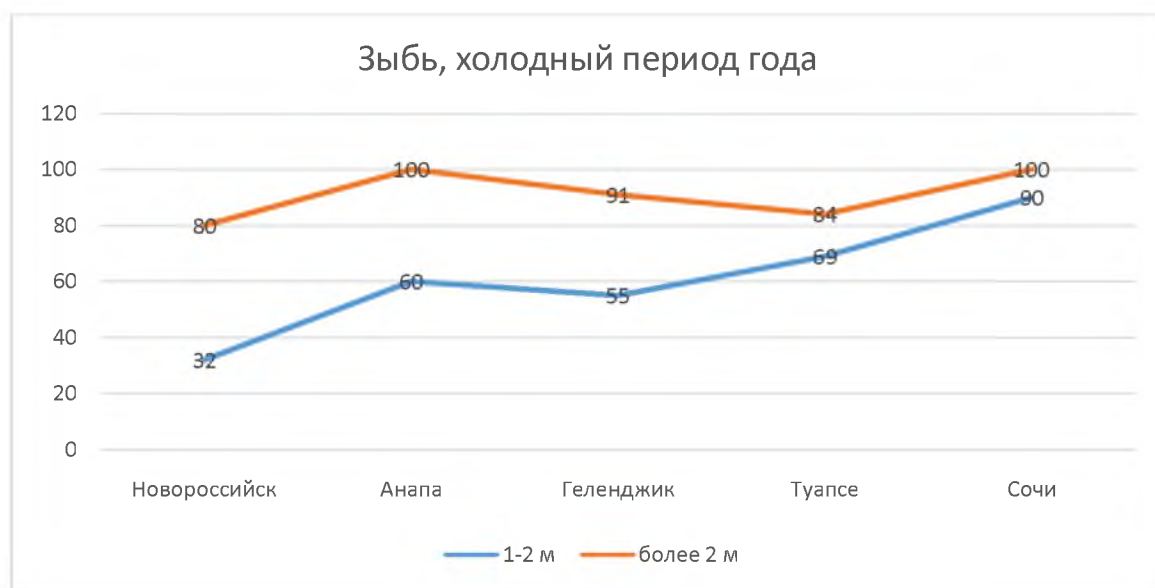


Рисунок 1.4 – Динамика повторяемости зыби в холодный период года (%)



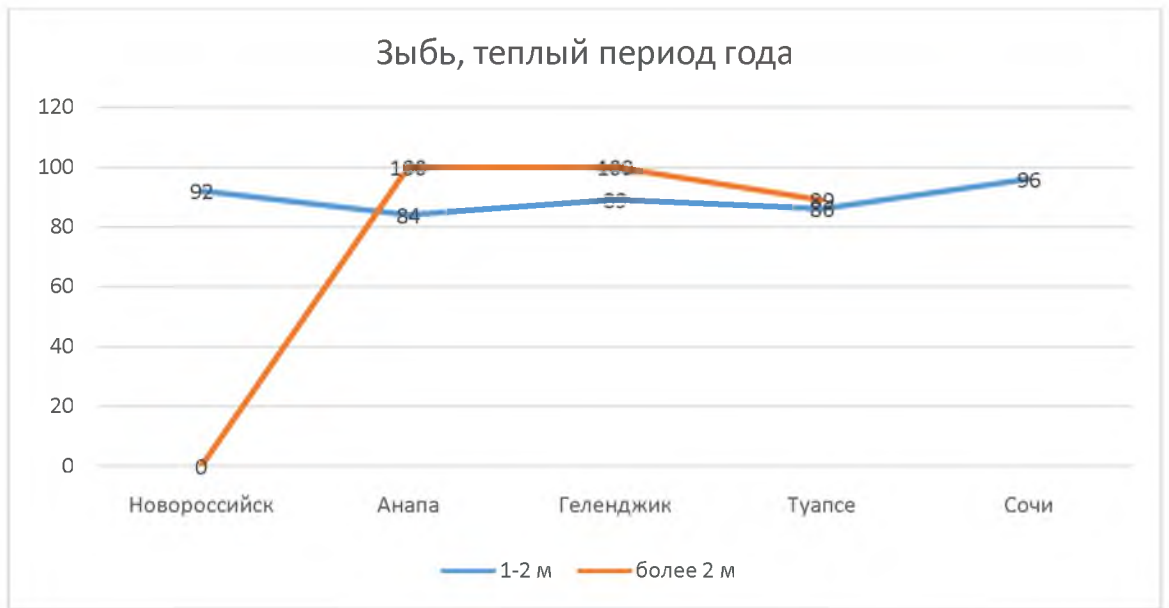


Рисунок 1.5 – Динамика повторяемости зыби в теплый период года (в%)

Графики построены таким образом, чтобы можно было проследить характер изменения значений в географическом плане: от Новоросийска к Сочи.

Рассматривая значения зыби в географическом плане, видим, что наблюдается тенденция роста обоих показателей в сторону Сочи в холодный период. Показатели волнения >2 метров наблюдаются чаще, показателей 1-2 м. В теплый период года в Новоросийске не наблюдаются зыбь >2, а в Анапе и Геленджике составляет 100%. Ровную тенденцию имеет график показателей 1-2 м, его значения находятся в пределах 84-96% на всем участке береговой линии.

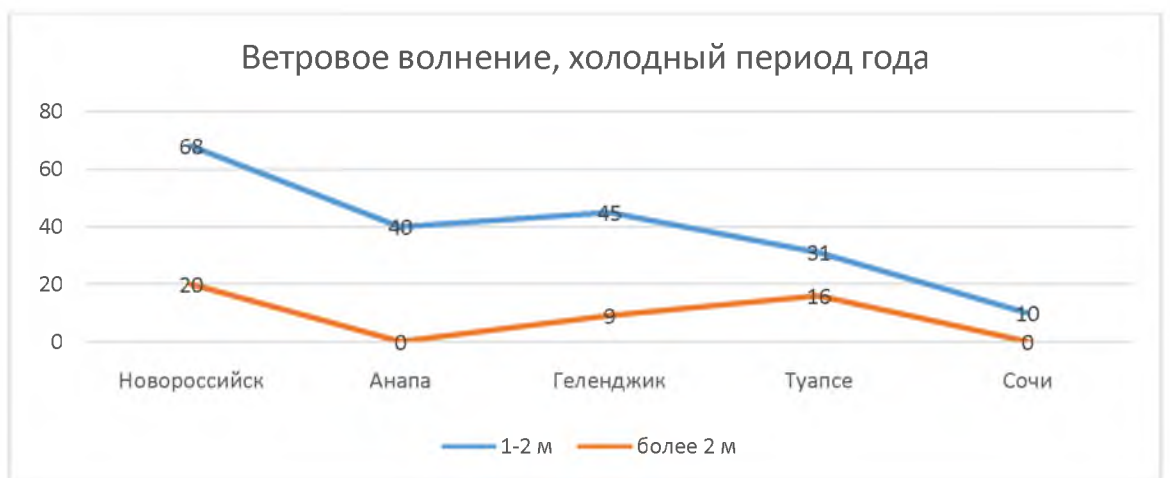


Рисунок 1.6 – Динамика повторяемости ветрового волнения в холодный период года (в%)

Ветровое волнение в холодный период (рисунок 1.6) имеет тенденцию уменьшения значений от Новороссийска к Сочи, преобладают значения в пределах 1-2 м. Значения  $>2$  м тоже имеют снижение по всей длине береговой линии, в Анапе таких значений не наблюдается.

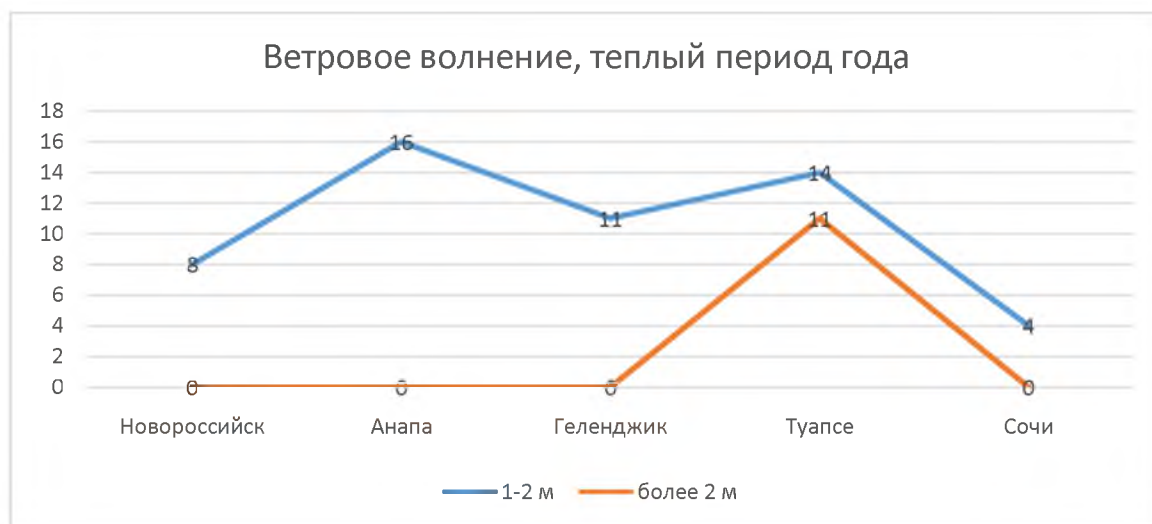


Рисунок 1.7 – Динамика повторяемости ветрового волнения в теплый период года (в%)

В теплый период года волнение  $>2$  м не наблюдается на участке Новороссийск- Геленджик и в Сочи, наблюдаются только в Туапсе, но составляют всего 11%. В основном в теплый период года наблюдаются волны 1-2 м, но также процентное значение этого показателя маленькое: 4-16%, в зависимости от пункта наблюдения. В Анапе он самый высокий – 16.

Также наблюдается особенность того что и зыбь, и ветровое волнение могут наблюдаться одновременно и это в большей степени связано с тем, что над Черным морем быстро изменяется синоптическая ситуация.

## 1.2 Методы и средства наблюдений за волнением моря

Существуют различные методы и средства наблюдений за элементами волн. Эти методы делятся на визуальные, контактные и дистанционные [1, с.39]

К ним относятся:

– волномерная рейка;

- волноизмерительный буй (направленный и ненаправленный);
- волноизмерительный радар;
- электромагнитный измеритель течений/давления;
- спутниковая альтиметрия;
- самописцы волнения (волнографы) различных типов;
- стереофотосъемка;
- аэрофотосъемка.

При визуальной оценке оценивают все необходимые показатели, характеризующие волнение. Оценка производится, согласно установленных правил и норм измерений в четыре основных срока: 00, 06, 12 и 18 часов по Гринвичу.

Степень волнения оценивается в баллах, перевод высоты волны в степень волнения производится по шкале степени волнения от 0 до 9 баллов (рисунок 1.8).

<b>Шкала волнений.</b>			
Высота волн (от — до, м)	Степень волнения в баллах	Характеристика	Признаки для определения состояния поверхности моря, озера, крупного водохранилища
0	0	Волнение отсутствует	Зеркально-гладкая поверхность
До 0,25	I	Слабое	Рябь, появляются небольшие гребни волн
0,25—0,75	II	Умеренное	Небольшие гребни волн начинают опрокидываться, но пена не белая, а стекловидная
0,75—1,25	III	Значительное	Небольшие волны, гребни некоторых из них опрокидываются, образуя местами белую клубящуюся пену — «барашки»
1,25—2,0	IV	То же	Волны принимают хорошо выраженную форму, повсюду образуются «барашки»
2,0-3,5	V	Сильное	Появляются высокие гребни, их пенящиеся вершины занимают большие площади, ветер начинает срывать пену с гребней волн
3,5—6,0	VI	То же	Гребни очерчивают длинные валы ветровых волн; пена, срываемая с гребней ветром, начинает вытягиваться полосами по склонам волн
6,0—8,5	VII	Очень сильное	Длинные полосы пены, срываемой ветром, покрывают склоны волн, местами сливаясь, достигают их подошв
8,5—11,0	VIII	То же	Пена широкими плотными сливающимися полосами покрывает склоны волн, отчего поверхность становится белой, только местами во впадинах волн видны свободные от пены участки
11,0 и более	IX	Исключительное	Поверхность моря покрыта плотным слоем пены, воздух наполнен водяной пылью и брызгами, видимость значительно уменьшена

Максимальные высоты волн в океанах достигают до 20 м. На морях, озерах и водохранилищах\* они различны, например: в Северном — 9, Средиземном — 8, Охотском — 7, на озерах Байкал и Ладожском — 6, Черном — 6 и Каспийском — 10, на Братском водохранилище — 4, 5 (в местах, где глубины 100 м), в Рыбинском водохранилище 2, 7, в Цимлянском — 4, 5, Куйбышевском — 3, в Белом море и Финском заливе — 2, 5 м; в низовьях Волги в шторм волны достигают высоты 1, 2 м.

Рисунок 1.8 – Шкала степени волнения

Состояние поверхности моря определяется в баллах, а критерием для его оценки является вид поверхности моря под влиянием на нее ветра. При этом следует обращать внимание на вид гребней волн и появление пены на их поверхности [20, с.49].

Количество баллов состояния поверхности моря определяется по шкале от 0 до 9 баллов (рисунок 1.8). Характеристика состояния поверхности моря не отражает степени ее взволнованности, а показывает только эффект влияния ветра на морскую поверхность, независимо от размеров волн. Определение состояния поверхности моря ведется только при ветре. При штиле оно всегда равняется нулю [20, с.54].

Волнение бывает следующего типа: толчея, смешанное волнение, мертвая зыбь, зыбь, ветровое волнение [21, с.29].

Форма волнения определяется по расположению на поверхности моря гребней и ложбин волн.

Проводя наблюдения необходимо определять откуда идут волны, для этого используют компасу. Затем засекают время, для определения периода волнения, для этого фиксируют определенную точку на поверхности моря и считают 11 гребней волны, полученный результат, делят на десять и получают период волнения.

При делении значения длины волны на ее период получают значение скорости распространения волн [23].

Для определения высоты и периода волн используют волномерные рейки или вешки (рисунок 1.9) [17, с. 132].

Волномерные рейки прикрепляются к сваям, либо вбиваются в дно. Их длина выбирается с учетом высоты волн в районе исследования [20].

Рейки отличаются от вех глубиной установки, могут быть деревянные или металлические.

При выборе длины руководствуются данными о величине волн в районе исследования, ориентируются на самый высокий наблюдаемый уровень.

У вехи имеется устройство для поддержания плавучести.

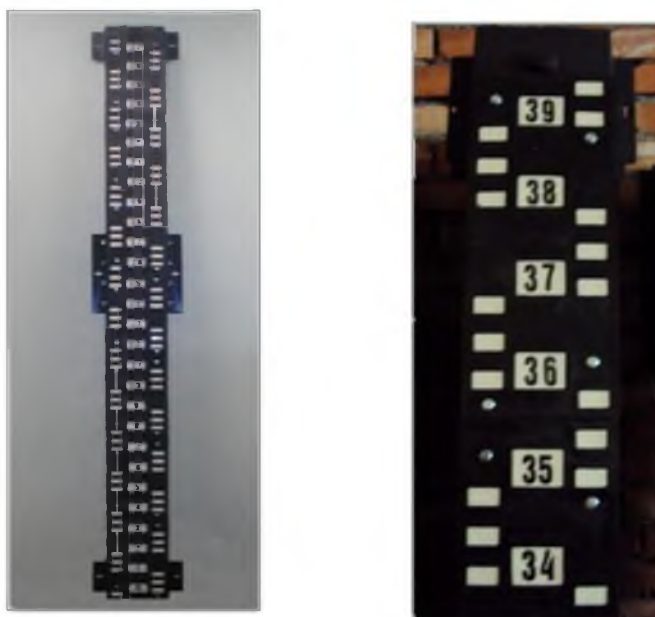


Рисунок 1.10 – Волномерная рейка

Волномерные буи представляют собой свободно плавающие или заякоренные буи, оснащенные измерительной аппаратурой. Различают следующие виды буюв: буи с акселерометром, буи с гидростатическим датчиком давления, буи с гидрометрической вертушкой (рисунок 1.11)



Рисунок 1.11 – Волноизмерительный буй

Измерение волн можно производить с помощью волновых радаров (рисунок 1.12).

Существует два вида удаленных радарных датчиков для морских волн.

– Прямой датчик непосредственно измеряет некоторые важные параметры волновой системы (например, высоту поверхности или скорость частиц воды).

– Косвенные датчики наблюдают поверхностные волны посредством взаимодействия с каким-либо другим физическим процессом, например радиолокационный разрез морской поверхности. Зона действия радара небольшая по сравнению со всеми представляющими интерес длинами волн.

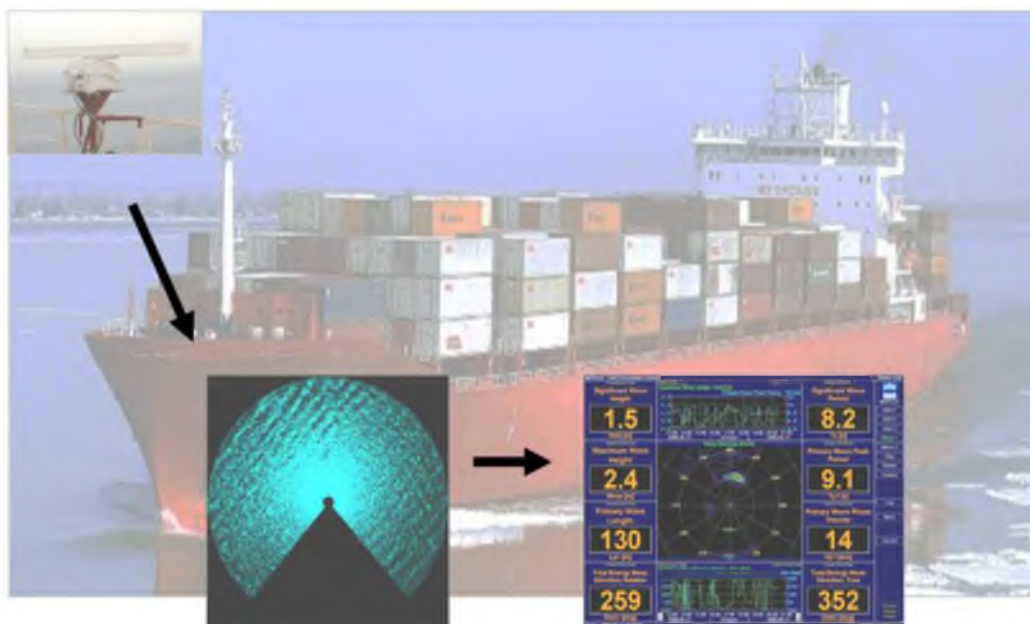


Рисунок 1.12 – Радар для измерения морских волн

Для измерения элементов волн и направления их распространения с берега применяется волномер-перспектометр (рисунок 1.13), работа которого основана на принципе оптического измерения элементов волн при помощи зрительной трубы с отсчетной сеткой.

Существует несколько моделей волномеров-перспектометров, отличающихся друг от друга незначительными деталями.

Волномер-перспектометр устанавливают на достаточно открытом месте, чтобы через зрительную трубу можно было обозревать всю видимую поверхность моря.

Перспективная сетка рассчитывается для двух высот над уровнем моря: 10 м (предназначена для измерения расстояний от 100 до 2000 м, цена деления

шкалы высот 0,5 м) и 40 м (для измерения расстояний от 400 до 5000 м, цена деления шкалы высот 1 м).

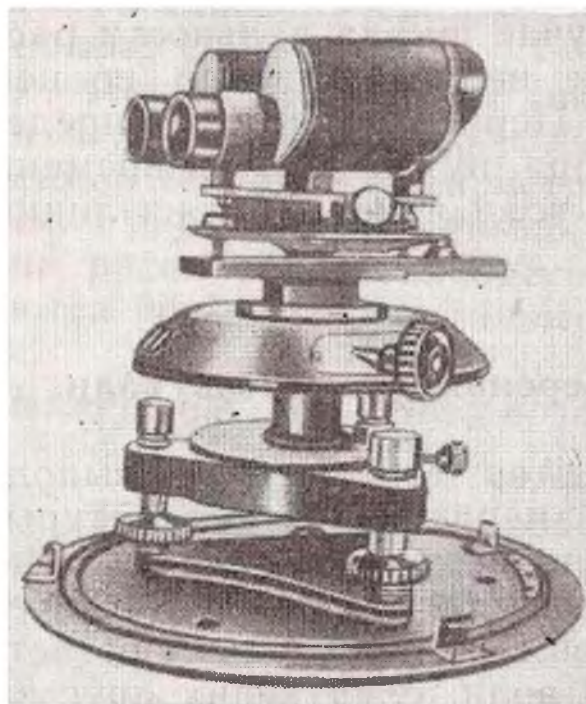


Рисунок 1.13 — Волномер-перспектометр

Для измерения характеристик морских волн используют волнографы, которые кроме измерения параметров производят еще их фиксацию [20].

Сегодня промышленность выпускает различные модификации волнографов, которые различаются принципом работы и конструкцией.

Волнографы или регистраторы параметров волнения моря (иногда называемые морскими самописцами параметров волнения, волномерами, измерителями направления волн и т.п.) – приборы для записи профиля волнения и последующего определения параметров волнения (высоты, периода, направления, скорости волн и др.).

Основной принцип действия волнографа построен на регистрации изменений гидростатического давления, вызванных прохождением волн. Как правило, волнограф помещается на фиксированной глубине или на дне водоёма.

Виды волнографов: механические; гидростатические; эхолоты с записывающими устройствами; волнографы-акселерометры, подвешиваемые на

буе; реостаты и емкостные волнографы (рисунок 1.14).

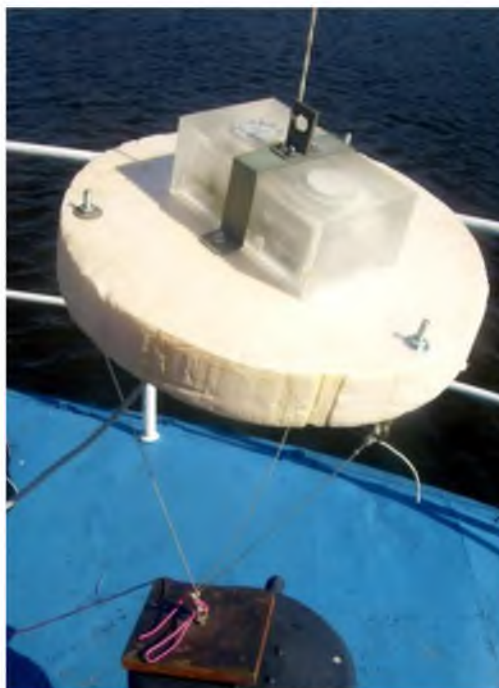
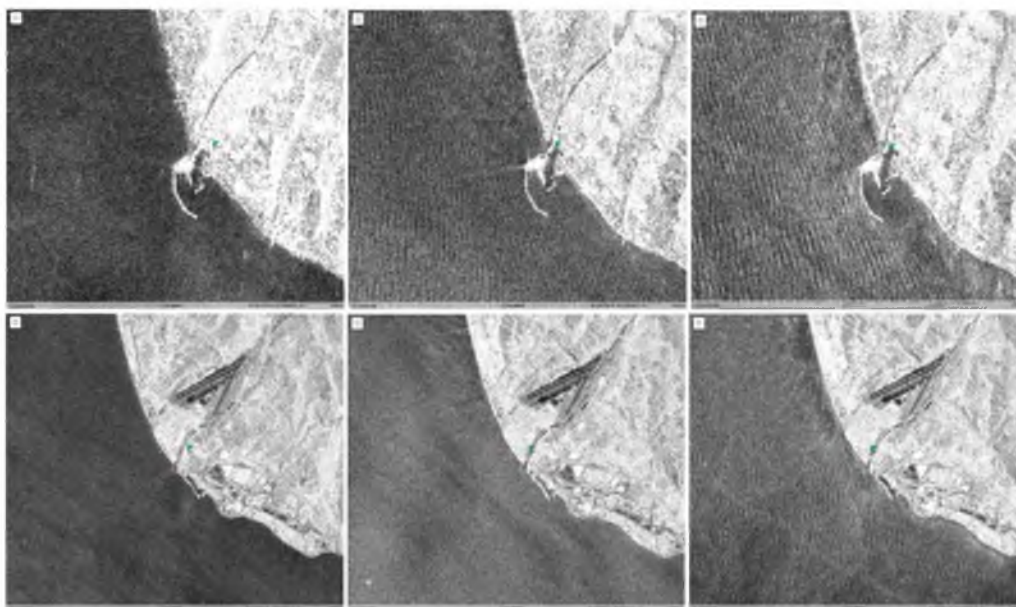


Рисунок 1.14 – Акустический волнограф

Спутниковый мониторинг позволяет получать информацию об основных характеристиках моря, в том числе и состоянии поверхности моря, волнения (рисунок 1.15) [23].



(вверху) и Адлер (внизу) от 30.11 (03:25 и 15:18 UTC) и 1.12.2021 (15:11 UTC). Слева: неразвитое волнение; в центре и справа: хорошо развитое поле волнения в открытом море и зыбь в прибрежной зоне

Рисунок 1.15 – Волновое поле в районе гг. Сочи



При исследовании поверхности моря и волнения с помощью космического мониторинга используется метод радиолокационной съемки, при этом импульсы электромагнитных волн отражаются от поверхности моря, которая во время волнения представляет собой шероховатую поверхность.

Другим видом изучения волнения является аэрофотосъемка, которая позволяет в короткий срок провести исследования на больших площадях. Аэрофотосъемка может осуществляться либо по заданному маршруту, либо это одиночная съемка [9, с.267]

Если необходима более полная и точная информация используют стереофотосъемки взволнованной поверхности, для этого исследования проводятся с двух самолетов синхронно и используют специальные приборы – стереопланиграфы. Такая съемка позволяет определять дополнительно высоты волн и наблюдать за волнением в объемном режиме.

Аэрофотосъемка позволяет расширить круг решаемых задач при исследованиях волнения моря: фиксировать и описывать системы второстепенных волн; определять области разгона, забурунивания и разрушения волн и проводить оценку протяженности волн по фронту.

Для оперативных целей используются методы и средства, которые описаны в руководящих документах и в наставлениях. Основным документом является РД 52.10.842-2017 [20].

В Туапсе наблюдения за волнением моря были начаты в 1956 году и проводились с помощью волномера-перспектометра. Для этих целей был оборудован специальный гидрологический пост на удалении 1,5 км на северо-запад от порта Туапсе. Высота волн определялась по буйку, установленному на расстоянии 700 м от уреза воды на глубине 16 метров.

С января 1971 года волномерный пост был перенесен в район городского пляжа к юго-востоку от порта. Наблюдения за волнением моря выполнялись, но волномеру перспектометру, установленному на вышке спасательной станции, на высоте 10 метров. Высота волн определялась по буйку, установленному на глубине 10 метров. Сектор обзора от юго-востока через юг до запада.

## 2 Синоптические условия, вызывающие волнообразующие факторы сильного волнения

### 2.1 Исследование волнения моря в районе от Анапы до Сочи

Зона района исследования, благодаря своему географическому положению и наличию большого водного объекта в виде Черного моря, горным естественным барьерам находится в постоянной динамике синоптических процессов. Для зоны побережья свойственен частный циклогенез, который охватывает не только побережье Кавказа, но и Крымское побережье. Но не каждый синоптический процесс приводит к формированию штормовых условий, который сопровождается сильным волнением моря.

При выполнении данной работы использовалась штормовая информация о сильном волнении моря от пяти морских гидрологических станций: Анапы, Геленджика, Новороссийска, Джубги, Туапсе и волноисследовательской станции Сочи, за многолетний период и этот многолетний период был дополнен данными за 2018-2020 года по ГМБ Туапсе.

Данные наблюдения в Геленджике, Джубге, Туапсе получены полуинструментальными способом – по ГМ-12, в Анапе – в основном, визуально, в Сочи – инструментально с помощью струйного волнографа ГМ-61, однако, здесь измерялось уже трансформационное волнение, так как датчики располагались на глубине 8-12 м, при достаточном удалении от пятидесятиметровой изобары.

В Анапе и Джубге условия наблюдения таковы, что волнение измерялось также трансформированным от всех румбов и лишь в Геленджике и Туапсе волнение приходит, практически, нетрансформированным. Таким образом, наиболее опорными, характеризующими волнение открытого моря, являлись наблюдения Геленджика и Туапсе.

Кроме штормовой информации использовались срочные наблюдения за волнением моря в 09 и 15 часов – в период действия штормов, при ветрах с моря, следующих на удалении от берега около трех-четырёх миль, т.е. в

условиях глубокого моря, близко к изобаре 100-120 метров.

Всего рассмотрено более 500 случаев сильного волнения. За «случай» была принята высота волн  $\geq 1$  метра, зафиксированная наблюдателями одновременно или в периоде, не превышающем трех часов на двух и более морских гидрометстанциях (обеспеченность 3-5%).

При анализе случаев сильного волнения использовались кольцевые карты погоды, карты барической топографии АТ 925, 850, ОТ 500/1000, данные радиозондирования АС Туапсе.

Поэтому можно сказать, что поля сильного волнения формируются, когда скорость ветра наблюдается  $\geq 5-6$  часов и она не меняет свое направление или эти изменения в направлении незначительны – не более 30-40 градусов, при этом соответствуют среднему горизонтальному градиенту давления более 1 мб/1° меридиана [10, с.342].

Оценка поля волнения проводилась в зоне активности штормовой зоны и при оценке учитывался барический градиент, также были выявлены и определены особенности, которые характерны не для всего моря, а для разных его участков. Эти особенности позволили выделить участки, которых получилось пять и они обозначены на карте (рисунок 2.1).

Характеристика каждой зоны имеет свои географические размеры и может быть в дальнейшем оцениваться самостоятельно.

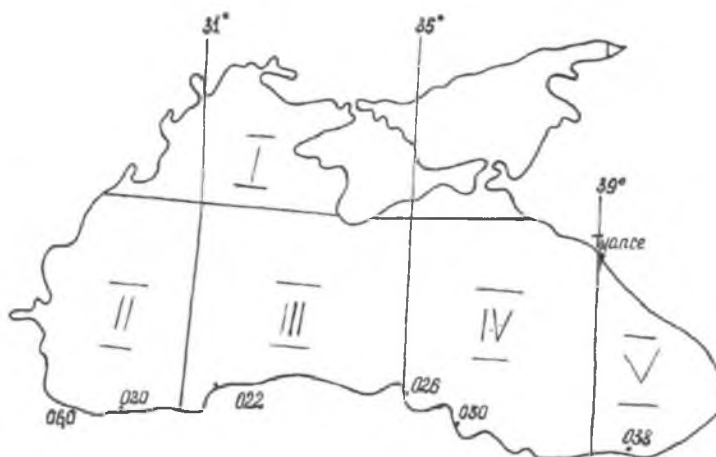


Рисунок 2.1 –Географическое районирование участков штормовых зон, сопровождающиеся сильным волнением

Рассмотрим какое направление имеют изобары в штормовой зоне, так как в дальнейшем это положение будет учитываться при составлении прогноза сильного волнения. На рисунке рассмотрены случаи волнения моря от юго-запада (рисунок 2.2).

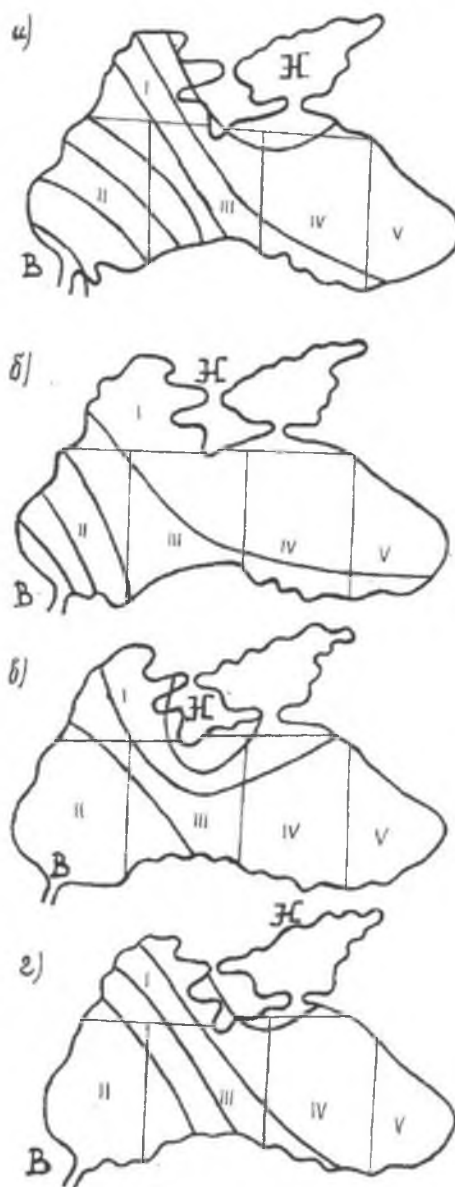


Рисунок 2.2 –Положение изобар при сильном волнении моря от юго-запада

–  $360-280^\circ$ , расположены над I, II, III районами или над двумя из них, или только над IV районом;

–  $200-170^\circ$  – над III и IV районами или на одном из них (рисунок 2.3 а, б);

– 160-140 °– над III, IV, V районами или только над IV или V (рисунок 2.3).

В указанных случаях наблюдается смешанное волнение или зыбь.

Характеристика изобар с волнением от юга и юго-востока представлена на рисунке 2.3.

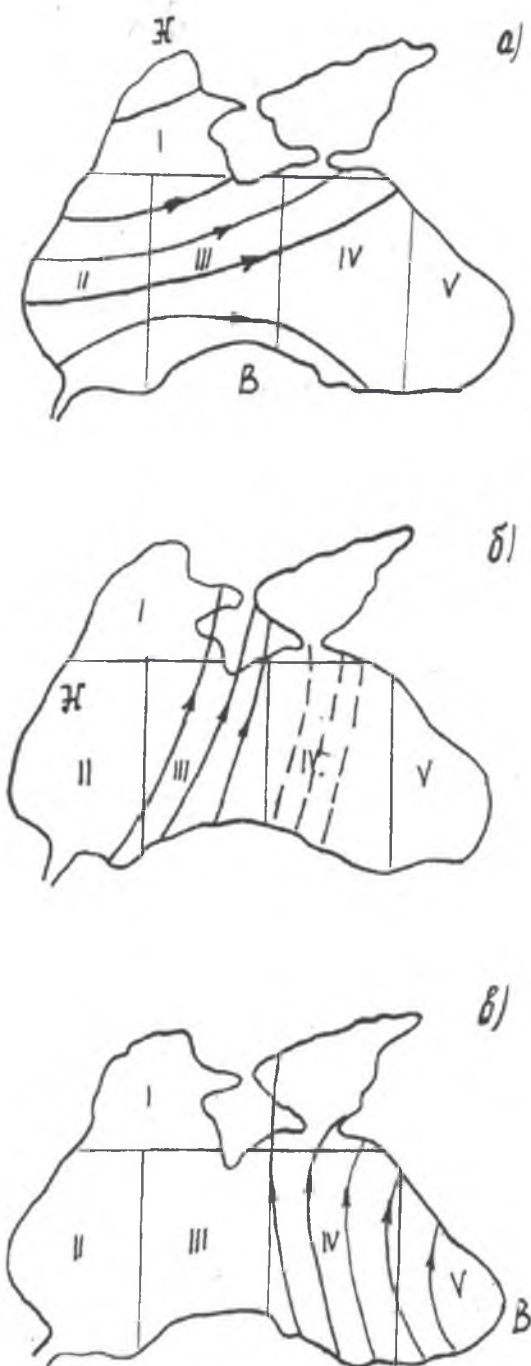


Рисунок 2.3 – Положение изобар при сильном волнении моря от юга и юго-востока

Ветровые волны (волны с соответствующим периодом и характером уменьшения волнения после ослабления ветра) на всем участке наблюдаются при направлении изобар в штормовой зоне 120-100 градусов и положении ее в северной (прибрежной) части IV и V районов, а также при сильных береговых (северо-восточных) ветрах на участке Анапа – Туапсе.

Прохождение быстро движущихся холодных фронтов с запада (скорость перемещения более 30 км/час).

Характерными условиями в зоне фронта являются:

- контраст температуры на расстоянии 500 км (по 250 километров по обе стороны от фронта) – более 8 градусов;

- ветер на картах АТ 925 и 850 мб поверхностях направлен к фронту;

- в нижнем слое тропосферы за фронтом хорошо выраженная адвекция холода, изменение геопотенциальных высот на карте ОТ 500/1000 – более 10 гПа за 12 час.

- вероятность усиления волнения с прохождением фронта тем сильнее, чем ближе к прямой, угол между направлением изобар и береговой линией, т.е. когда перед фронтом изобары имеют юго-западное направление, а за фронтом – северо-западное.

За исследуемый период сильное волнение от юго-запада – это в основном, зыбь или смешанное; лишь в отдельных случаях наблюдатели отмечали, как ветровое, но, судя по характеру уменьшения волнения после ослабления ветра, основной формой волнения и в таких случаях является зыбь.

Максимальная высота волн от юго-запада достигала 6-7 метров и отмечалась в районе Туапсе; в Геленджике при одних и тех же условиях фиксировалось 5 метров, в Сочи – 4 метра.

Волнообразующими факторами сильного волнения этого направления являются [7, с.158]:

- наличие штормовой зоны, в которой изобары направлены в пределах 360-280 градусов;

– штормовая зона располагается в I, II, III районах или только во II, только в III, в I и III (рисунок 2.4);

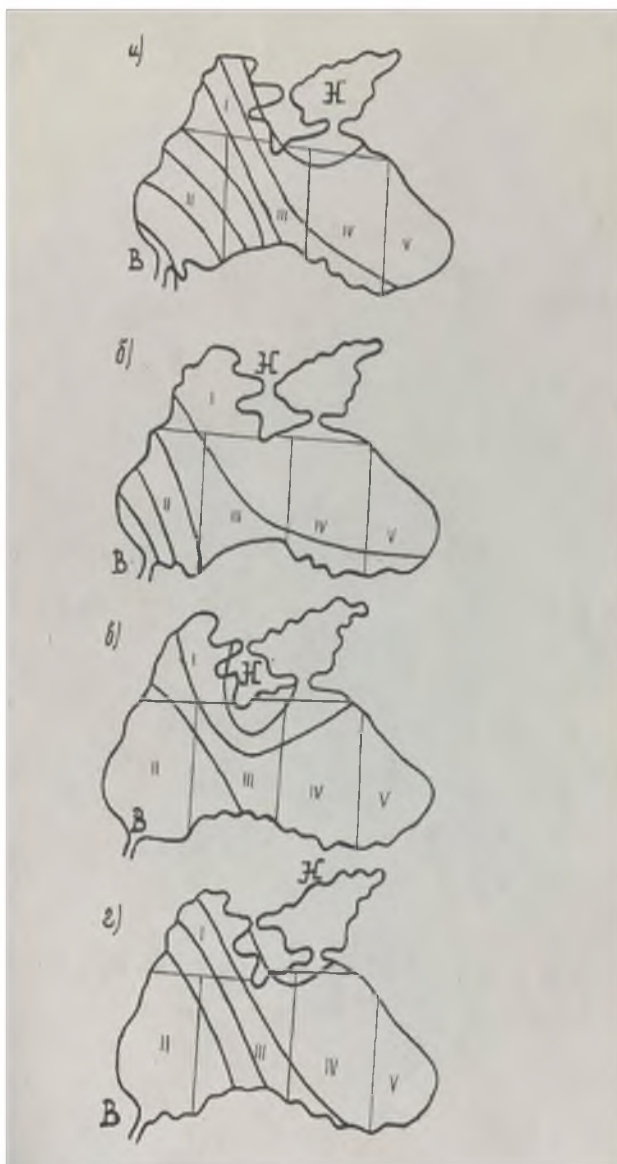


Рисунок 2.4 – Положение штормовых зон, сопровождающееся сильным волнением от юго-запада

- разница давления между наибольшим значением его на одной из трёх станций Турецкого побережья (37060, 37020, 37022) и минимальным давлением на южном или юго-западном побережье Крыма более 3 мб ( $\Delta P1$ ) или между наибольшим давлением на тех же станциях и минимальным – на участке Анапа – Туапсе более 4 мб ( $\Delta P2$ ) (рисунок 2.5);

– сохранение критических значений  $\Delta P1$  и  $\Delta P2$  более 6 часов.

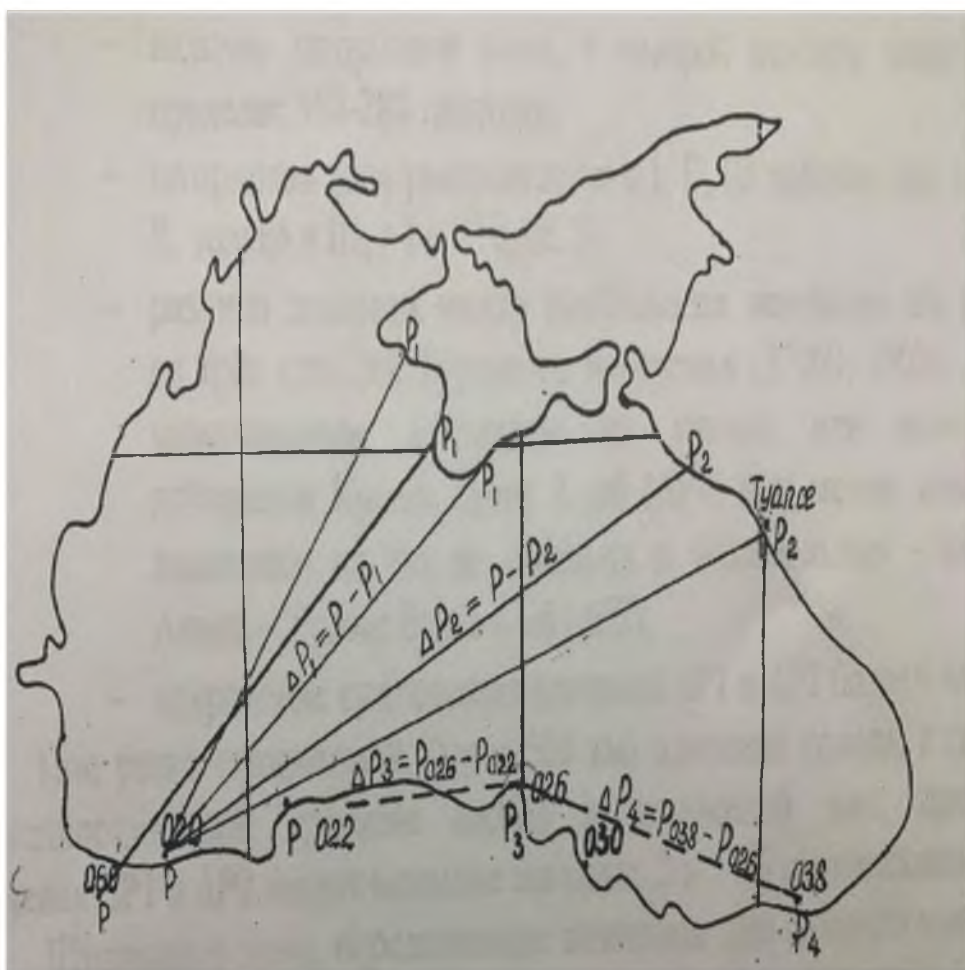


Рисунок 2.5 — Схема снятия разности давления ( $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \Delta P_4$ )

При резко выраженной ( $\geq$  град/500 км) адвекции холода, а также при антициклонической кривизне изобар в штормовой зоне, критические значения  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  имеют меньшие значения: 2 и 3 мб соответственно.

Штормовые зоны, определяющие возникновение сильного волнения от юго-запада обычно связаны с тыловой частью циклонов (ложбин) расположенных над Украиной, Приазовьем, Крымом, Краснодарским краем, южной периферией обширных глубоких циклонов над Центральными районами ЕТС, а также передней частью гребней высокого давления.

Время начала сильного волнения этого направления находится в зависимости от расстояния до штормовой зоны, от направления и скорости ветра в ней (направления и величины горизонтального барического градиента) или величины разницы давления  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$ ), от скорости перемещения зоны в пространстве [6, с. 137].



Связи между началом волнения и перечисленными факторами лучше всего проявляются в случаях, когда высота волн не превышает 2-2,5 метров (при  $\Delta P1$  и  $\Delta P2$ , равных 7-8 мб) когда штормовая зона связана с тылом барической ложбины, скорость перемещения которой в пределах 30-40 км в час ( $V \approx 0,7$  скорости ветра на поверхности АТ 700 мб).

На рисунке 2.6 представлено минимальное время, когда сильная зыбь подойдет к рассматриваемому району.

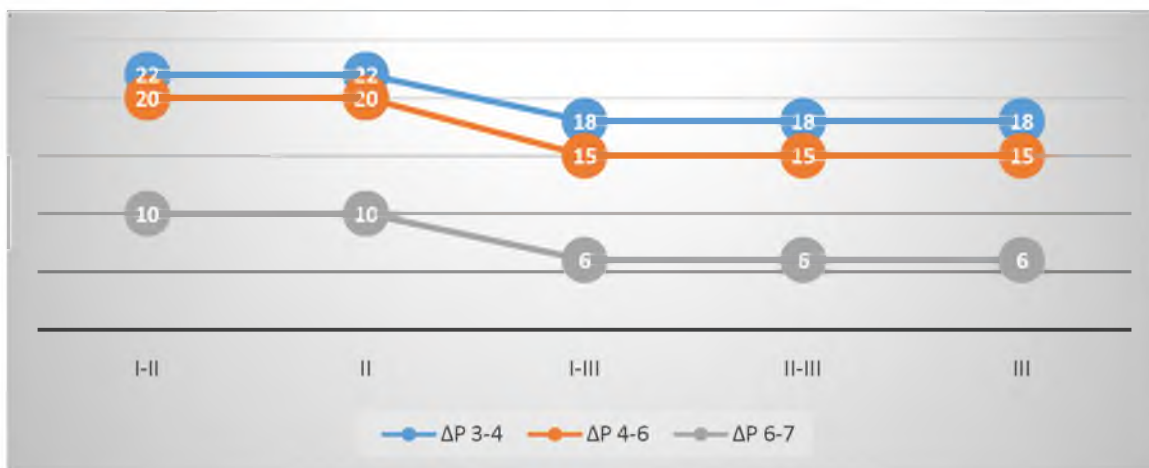


Рисунок 2.6 – Минимальное время, когда сильная зыбь подойдет к рассматриваемому району при разных значениях  $\Delta P$

На рисунке 2.7 представлено максимальное время, когда сильная зыбь подойдет к рассматриваемому району.



Рисунок 2.7 – Максимальное время, когда сильная зыбь подойдет к рассматриваемому району при разных значениях  $\Delta P$

Так при  $\Delta P_1$  равной 3 миллибарам или  $\Delta P_2 = 4$  миллибарам и положении штормовой зоны (ее переднего края) приходят к побережью Анапа – Туапсе через 22-30 часов.

Появление сильного волнения от юго-запада в подавляющем большинстве случаев в первую очередь отмечается в районе Туапсе.

При  $3 < \Delta P_1 < 5$  и  $4 < \Delta P_2 < 6$  и сохранении этих значений более 6 часов появление штормовой зыби на всем участке происходит за период 1-2 часа, при  $\Delta P_1$  более 5 мб и  $\Delta P_2$  более 6 мб – в течении 30-60 минут.

Получена связь максимальной высоты волн от величины  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  и продолжительности действия того или другого их значения (рисунок 2.8).

Наиболее повторяющейся продолжительностью критической ( $\geq 3-4$  мб) величины  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  является период 9-18 часов.

При более продолжительном существовании волнообразующих факторов того или другого значения, высота волн существенно не увеличивается, увеличивается лишь продолжительность волнения.

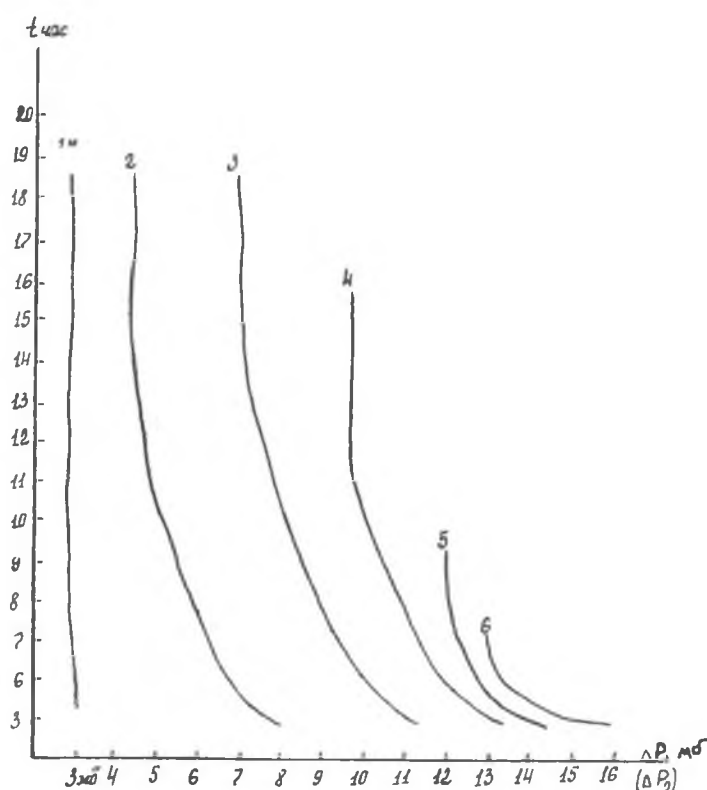


Рисунок 2.8 – График зависимости максимальной высоты волн от величины и продолжительности максимального значения  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$

Как видно из графика (рисунок 2.8) при  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  близких 10-12 мб и положении штормовой зоны в III районе, через 6-9 часов максимальная высота волн в Туапсе достигает 3-4 метров (график построен на основании данных ГМБ Туапсе). При дальнейшей активизации синоптического процесса, когда  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  при штормовой зоне, находящейся в III районе имеют значение 13-16 мб, высота волне в Туапсе через 3-6 часов достигает 50-60 дециметров, в Геленджике 40-50, в Сочи около 40.

Особенности синоптических процессов над рассматриваемым районом таковы, что штормовые зоны с направлением изобар 360-280 градусов, образованные тыловыми частями быстродвижущихся ложбин и циклонов, сохраняются в пределах 9-28 часов.

По мере смещения штормовой зоны в IV и далее V районы, над II и III районами в 35-40 процентов случаев появляется новая штормовая зона с направлением изобар 270-210 градусов, соответствующая тыловой части гребня или северной периферии антициклона, расположенного над Турцией.

Такая синоптическая обстановка сменяется затем передней частью ложбины с более южным направлением изобар.

С появлением новой штормовой зоны ( $270-210^\circ$ ), направление сильного волнения от юго-запада переходит к волнению от юга, меняясь по интенсивности от активности новой штормовой зоны и продолжительности ее нахождения в соответствующем районе моря (см. следующий раздел).

При дальнейшем изменении направления штормовой зоны к  $200-140^\circ$  сильное волнение переходит к направлению от юго-востока, в отдельных случаях усиливаясь, но чаще ослабевая.

Сильное волнение от юга и юго-востока имеет такую же повторяемость, как и волнение от юга-запада. В 70% случаев – это зыбь и смешанное, в 30% – ветровое.

Максимальная высота волн от юга и юго-востока в Новороссийске, Геленджике, Туапсе наблюдалась в пределах 3-5 метров. При этом волнение отмечалось как смешанное.

Наибольшую повторяемость имеет градация высоты волн «1-2 метра». Повторяемость более высоких волн от юга и юго-востока – значительно меньше, чем при волнении от юго-запада.

Так волны от юго-востока  $2 < H_v < 3$  м наблюдаются в Туапсе и Геленджике в 5-7 раз, в Сочи в 10 раз реже, чем от юго-запада, а  $3 < H_v < 4,5$  – в Туапсе и Геленджике реже в 10-12 раз, в Сочи за исследуемый период не отмечались.

Возникновение сильного волнения от юга и юго-востока чаще всего происходит в передней части барических ложбин или в тыловой части гребней.

Волнообразующие факторы следующие:

- направление изобар в штормовой зоне: 270-210 градусов, зона расположена над II и III районами или только III, горизонтальный барический градиент  $1,5 \text{ мб}/1^\circ$  меридиана;

- 200-160 градусов – над III районом; горизонтальный барический градиент  $\geq 1 \text{ мб}/1^\circ$  меридиана, разница давления между станциями (37026 и 37022) Турецкого побережья ( $\Delta P_3$ ) 2,5 мб;

- 160-140 градусов - над IV и V районами или только в IV, только в V, горизонтальный барический градиент  $\geq 1 \text{ мб}/1^\circ$  меридиана, разница давления между станциями (37038 и 37026) Турецкого побережья ( $\Delta P_4$ )  $\geq 2,5$  мб;

- сохранение критических значений  $\Delta P_3$  и  $\Delta P_4$  ( $\geq 2,5$  мб) – не менее 3-5 часов.

Связь между высотой волн и активностью штормовой зоны (величиной значения  $\Delta P_3$  и  $\Delta P_4$ ), её положением (расстоянием до штормовой зоны) представлена на рисунке 2.9.

Как видно из графика, при значениях  $\Delta P_3$  и  $\Delta P_4$  не превышающих 2.5-3 мб, максимальные высоты волн на рассматриваемом участке – 1,5-2 метра.

Время начала сильного волнения от юга и юго-востока находится в зависимости от расстояния до штормовой зоны (ее переднего края), активности штормовой зоны, т.е. величины горизонтального барического градиента в ней или величины разности давления на границах района, где расположена штормовая зона.

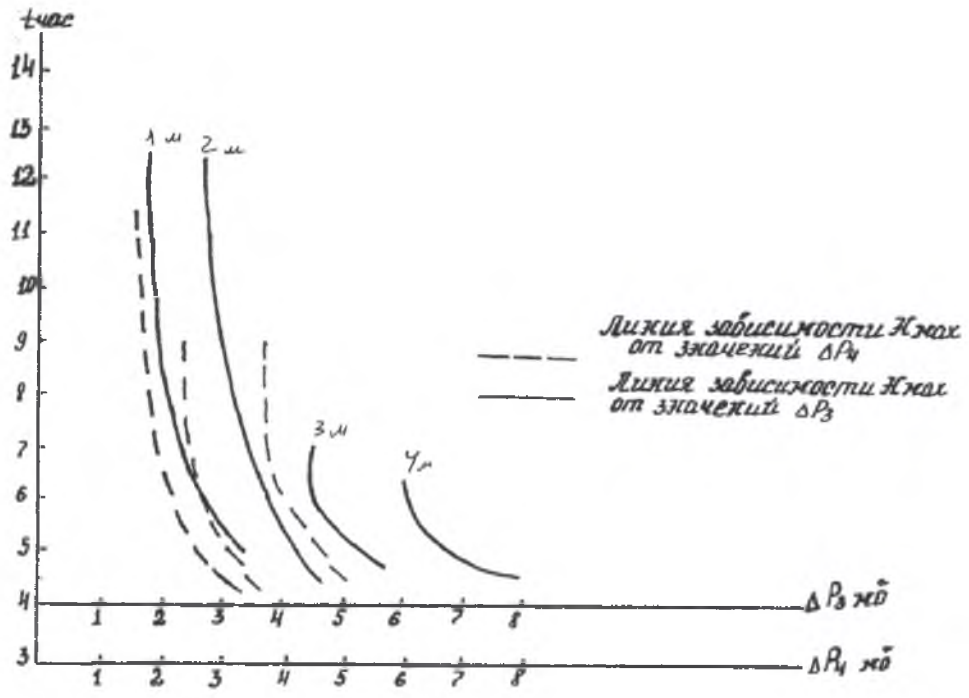


Рисунок 2.9 – График зависимости максимальной высоты волн от величины и продолжительности максимального значения  $\Delta P_3$  и  $\Delta P_4$

На рисунке 2.10 и 2.11 указаны периоды времени через которые сильное волнение этого направления будет наблюдаться на участке Анапа-Сочи, в зависимости от величины значений  $\Delta P_3$ ,  $\Delta P_4$  и района, где располагается штормовая зона[2].

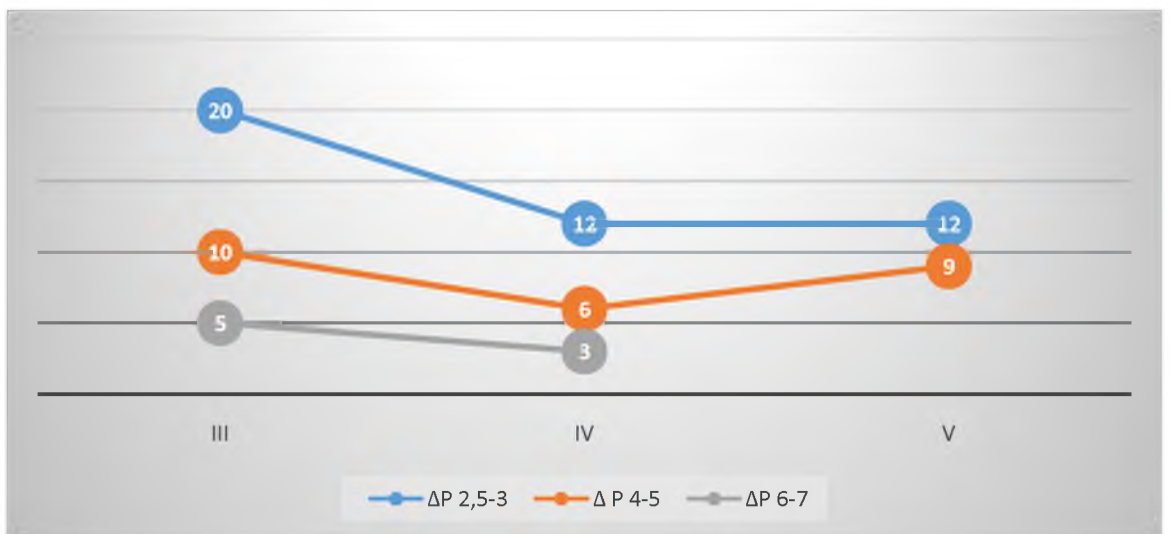


Рисунок 2.10 – Минимальное время, когда сильное волнение подойдет к рассматриваемому району при разных значениях  $\Delta P$

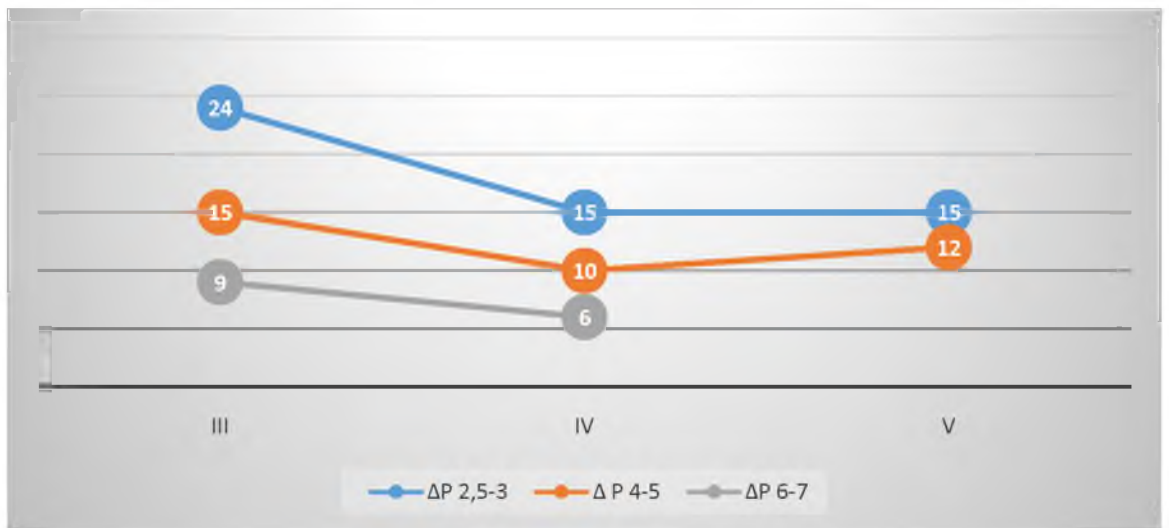


Рисунок 2.11 – Минимальное время, когда сильное волнение подойдет к рассматриваемому району при разных значениях  $\Delta P$

Таким образом, в случаях, когда разница давления на границах III района, где располагается штормовая зона не превышает 2,5-3 мб, при условии сохранения ее в течение 3-5 часов, волны высотой 1-2 метра подходят к Кавказскому побережью, в среднем, через сутки (через 20-28 часов).

При направлении изобар в штормовой зоне, близком к широтному и положении во II и III районах зыбь  $\geq 1$  метра приходит к Кавказскому побережью через 24-28 часов после того, как величина барического градиента на меридиане Крыма достигнет значения  $1.5\text{мб}/1^\circ$  меридиана.

Сильное волнение от юга и юго-востока (так же, как и от юго-запада) в подавляющем большинстве случаев начинается с прихода зыби. При перемещении штормовой зоны в IV район моря и, как правило, ее обострение (увеличении горизонтальных градиентов давления), волнение становится смешанным, так, как усиливается южный и юго-восточный ветер.

В таких случаях данные наблюдений МС Геленджик являются наиболее характерными для волнения всей прибрежной зоны.

Появление сильного волнения этого направления отмечается не одновременно на всем участке, особенно при  $\Delta P_3$  и  $\Delta P_4$  не превышающих 2.5-3 мб. В таких случаях период за который наблюдатели пяти станций фиксируют

зыбь высотой 1-1,5 метра составляют 1,5 - 3,0 часа, при больших значениях  $\Delta P_3$  и  $\Delta P_4$  интервал времени уменьшается в среднем, до 0,7-1,5 часов.

Повторяемость случаев перехода волнения от юга и юго-востока к волнению от юго-запада почти в 2 раза меньше, чем случаев пберехода волнения от юго-запада к волнению от юга и юго-востока, что связано с особенностями развития синоптических процессов над морем, обусловленными орографией Кавказского побережья и Крыма.

Изменение направления волнения происходит при прохождении барических ложбин с ярко выраженным профилем или пересечении экватории моря развитым циклоном, очерченным не менее чем 2-мя изобарами, т.е. при наличии хорошо выраженной тыловой части циклона или ложбины.

В таких случаях изменение направления сильного волнения проходит циклом: «от юга» к – «от юго-востока» к – «от юга», постепенно ослабевая, к – «от юго-запада», усиливаясь, к – «от юга» и юго-востока, ослабевая.

Если графически представить эволюцию сильного волнения при прохождении экватории моря хорошо выраженной ложбиной, то изменение интенсивности волнения и его направления происходит по синусоиде (рисунок 2.12).

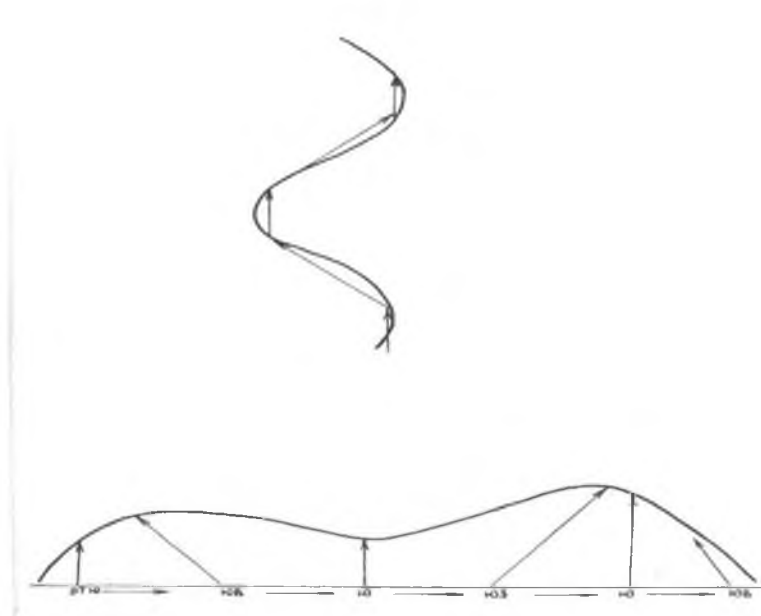


Рисунок 2.12 – Ход изменения направления и интенсивности волнения при прохождении меридиально направленных ложбин

На рисунке 2.13 показано наиболее характерное положение штормовых зон при изменении направления от «юго-востока» к «юго-западу».

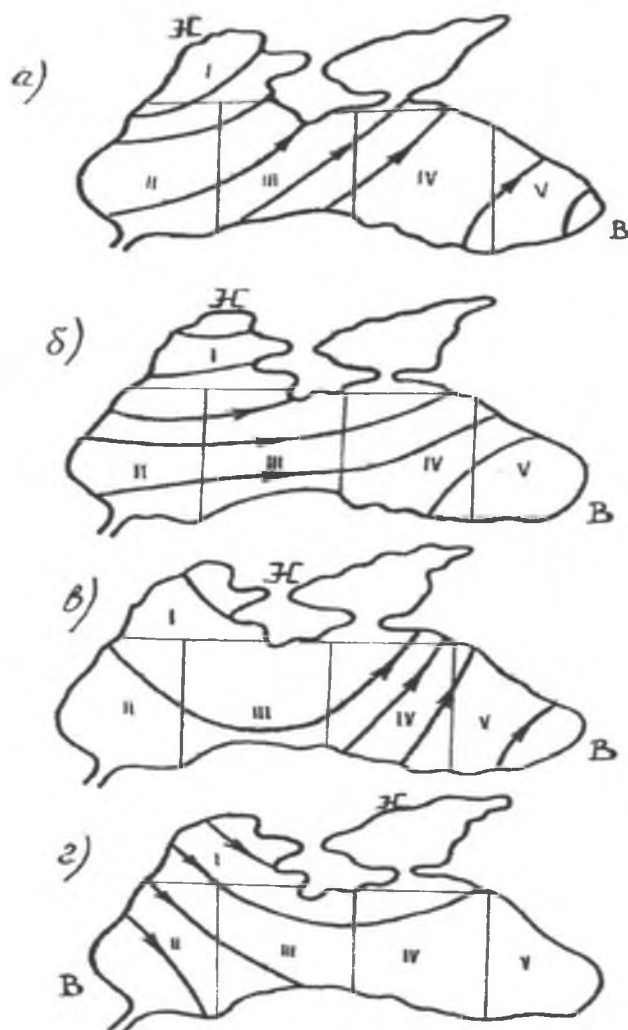


Рисунок 2.13 – Изменения положения штормовых зон, сопровождающиеся переходом направления волнения от юга и юго-востока к волнению от юго-запада

Переход волнения «от юга» и юго-востока к волнению «от юго-запада» происходит при одновременном наличии следующих факторов:

- перемещение штормовой зоны в четвертый и пятый районы;
- появление над II и III районами моря штормовой зоны с направлением изобар 300-280 градусов;
- возникновение значений  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2 \geq 3$  мб и их сохранении в течение 5-6 и более часов.



Время перехода направления зависит от активности новой штормовой зоны.

## 2.2 Связь сильного волнения с атмосферными фронтами

Прохождение атмосферных фронтов над районами Анапа – Сочи, как правило, связано с перемещением над акваторией моря барических ложбин и циклонов. За период около 5 лет рассмотрено 241 случай прохождения фронтов и только в 156 случаях их прохождение сопровождалось сильным волнением моря. На рисунке 2.14 представлена общая динамика повторяемости прохождения атмосферных фронтов по месяцам за 5 лет и показано сколько из них проходило в условиях сильного волнения[2].

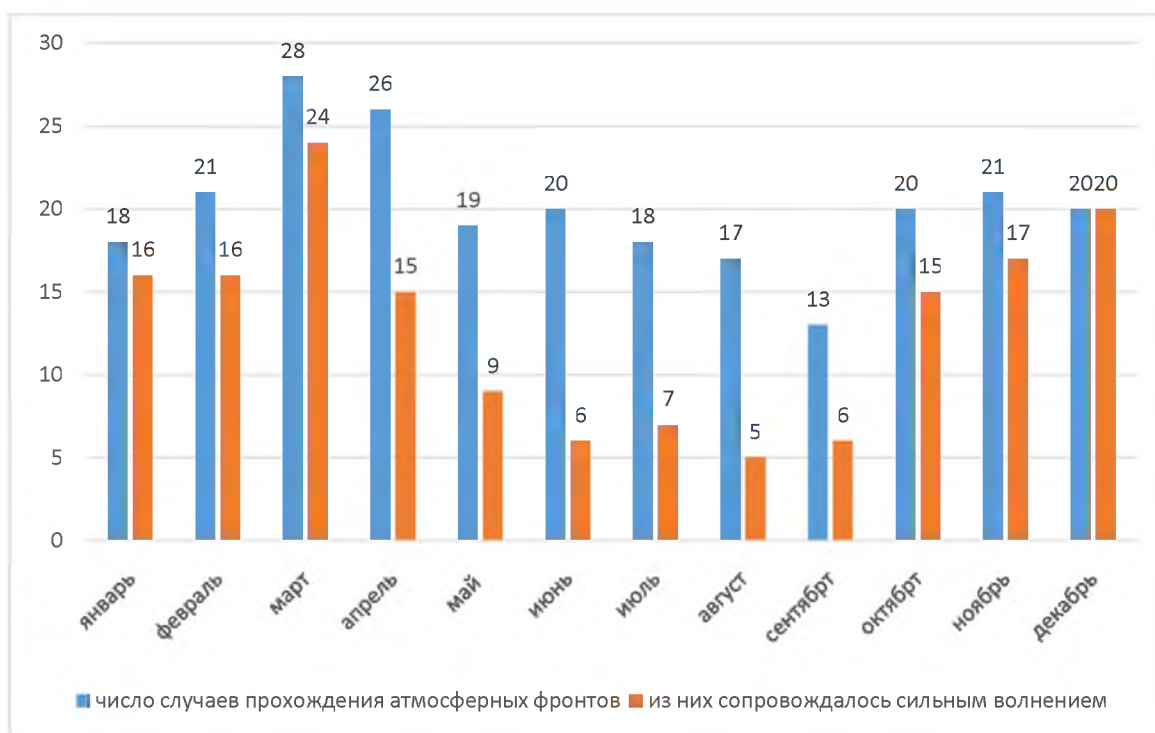


Рисунок 2.14 – Динамика повторяемости прохождения атмосферных фронтов по месяцам

Рисунок 2.14 позволяет сделать вывод, что сильное волнение наблюдалось в 65% случаев при прохождении атмосферных фронтов. На протяжении всего года их число наблюдалось от 5 в августе и до 24 в марте.

Увеличение числа случаев наблюдается в период с октября по апрель включительно. В декабре прохождение всех фронтов сопровождалось волнением. Если в холодный период зависимость числа случаев волнения прослеживается от наличия фронтов, то в теплое время ее нет.

На рисунке 2.15 представлен сравнение числа случаев прохождения атмосферных фронтов с числом случаев, когда при прохождении этих фронтов наблюдалось сильное волнение.

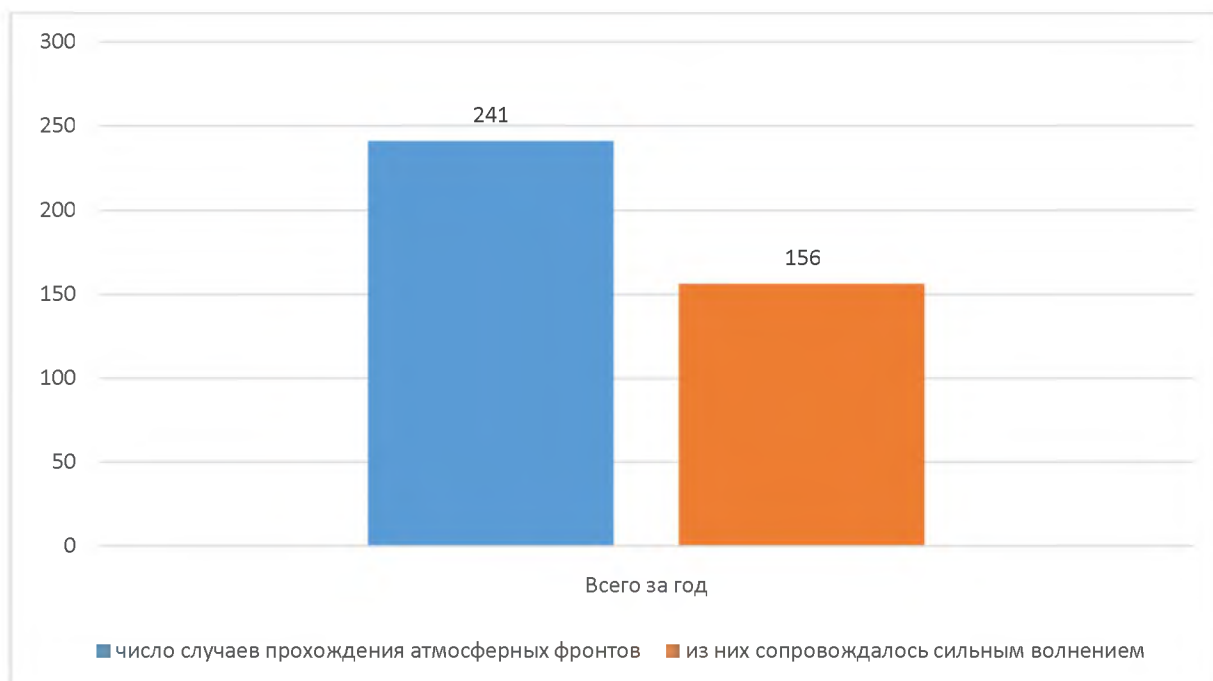


Рисунок 2.15 – Число случаев сильного волнения при прохождении атмосферных фронтов

Анализ синоптических карт позволяет сделать вывод, что связь между усилением волнения и прохождением фронта проявляется лишь в случаях хорошо выраженных холодных фронтов, перемещающихся с запада на восток.

Наиболее заметно фронтальное усиление волнения происходит на участке Джубга – Сочи.

Как известно, усиление ветра в зоне фронта возникает, примерно, за 150-200 км перед фронтом, т.е. когда фронт, смещаясь с запада на восток, проходит через меридиан центральной части Крыма.

По данным наблюдений Анапы, Геленджика, Джубги и Туапсе, усиление

ветра при прохождении фронтальных разделов, в среднем, отмечается на 4-5 м/с, в ряде случаев на 8-10 м/с от средней величины. Степень усиления ветра зависит от активности фронта.

Увеличение волнения перед фронтом происходит не в момент прохождения фронта, а перед фронтом:

- на участке Джубга – Туапсе волнение начинает усиливаться, когда фронт еще только подходит район Анапы;

- на участке южнее Туапсе (Туапсе – Сочи) усиление волнения отмечается при прохождении фронтом района Джубги или при подходе его к Туапсе.

Статистическая обработка случаев позволила выявить термические и барические условия во фронтальной зоне, при которых, в сочетании с местными особенностями, создаются дополнительные волнообразующие факторы.

Таковыми условиями в зоне фронта являются:

- контрасты температуры на расстоянии 500 км (по 250 км по обе стороны от фронта) – более 8 градусов;

- ветер на картах АТ-925 и 850 мб поверхностях нормален к фронту или близок к нормальному;

- скорость перемещения фронта более 30 км/час (0,7 скорости ветра на карте АТ-700 мб поверхности);

- в нижнем слое тропосферы за фронтом хорошо выраженная адвекция холода, падение геопотенциальных высот на карте ОТ 500/1000 мб – более 7 гп.дам/12 час;

- изобары за фронтом имеют направление северо-западное, северное, северо-северо-восточное, перед фронтом – юго-западное.

Чем больше контраст температуры в зоне фронта, тем сильнее предфронтальное усиление ветра, следовательно, и волнение в случае прохождения такого фронта сильнее, чем при одних и тех же волнообразующих факторах, но без наличия фронта.

Для нахождения связи между высотой волн при прохождении активных

холодных фронтов, и значением используемых в данной работе волнообразующих факторов, а также величиной контрастов температуры в зоне фронта, строилась графическая зависимость. В результате оказалось, что при контрасте температуры в зоне фронта, равном 6-7 град./500 км высота волн по графику (рисунок 2.8) соответствует не максимальному значению  $\Delta P_1$  ( $\Delta P_2$ ), а на 1-2 мб большему; при значении  $dt/dn \approx c$  8-10 град./500 км, высота волн соответствует максимальной величине  $\Delta P_1$  ( $\Delta P_2$ ) плюс 3-4 мб. Например, если максимальное значение  $\Delta P_1$  ( $\Delta P_2$ ) определено, как 7 мб и наблюдалось в течение 6 часов, то при прохождении холодного фронта в зоне которого  $dt/dn$  составляет 9-10 град./500 км определение высоты волны по графику производится не для  $\Delta P_1$  ( $\Delta P_2$ ) равном 7, а 11 мб, т.е. максимальная высота волн на участке Туапсе – Сочи может достигать 3-4 м [2].

На рисунках 2.16 и 2.17 представлены карта приземного барического поля и карта барической топографии АТ-700 мб поверхности, в соответствии с которой скорость перемещения фронта составляет 55-60 км/час. Контраст температуры в зоне фронта ( $dt/dn$ ) – около 11 град./500 км.

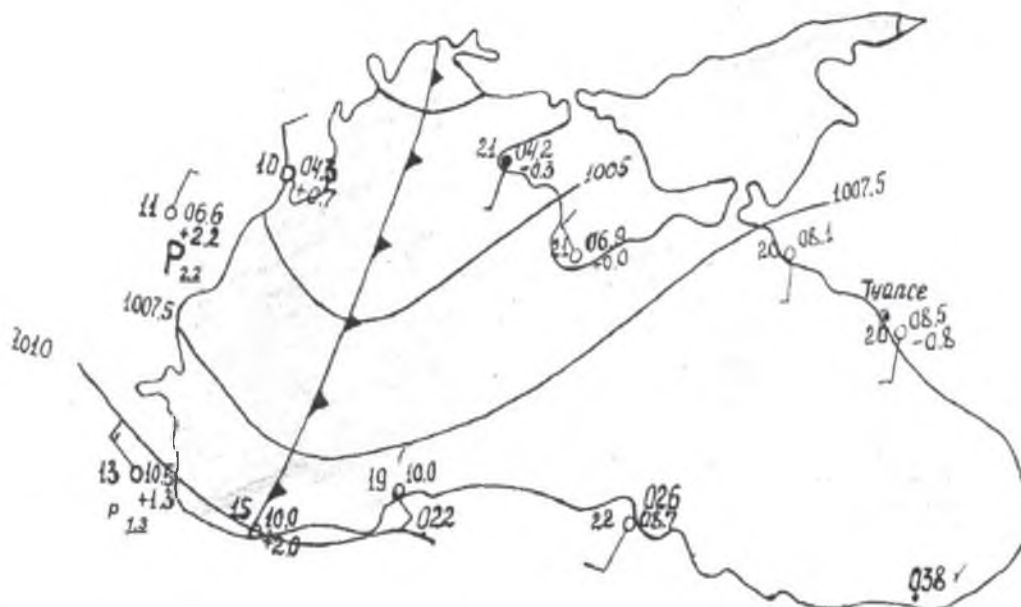


Рисунок 2.16 – Карта погоды (угрожающее положение)

На основании прогноза приземного барического поля (синоптическим путем) на период 12 часов можно было определить, что максимальное значение  $\Delta P1$  будет близким к 10 мб,  $\Delta P2$  – 12 мб.

С учетом прохождения хорошо выраженного холодного фронта, значения  $\Delta P1$  и  $\Delta P2$  следует увеличить на 3-4 мб. Но при скорости перемещения фронта 55-60 км, также величины разницы давления существуют непродолжительно (3-5 часов).

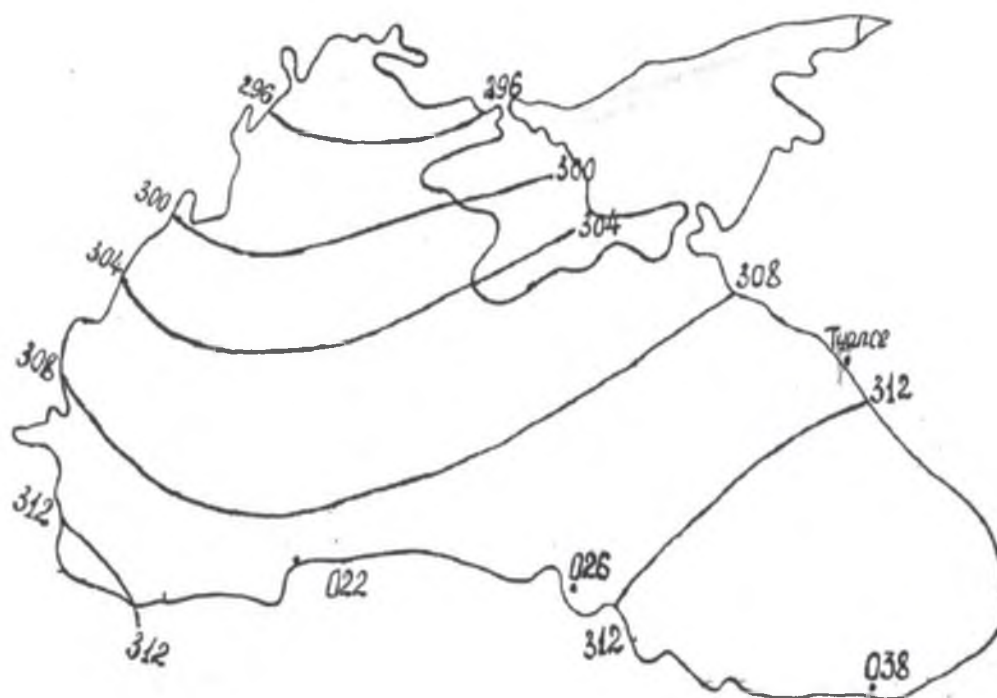


Рисунок 2.17 – Карта погоды АТ750 мб

Для определения максимальной высоты волн следует войти в график (рисунок 2.8), имея значения  $\Delta P1$  – 13 мб,  $\Delta P2$  – 15 мб,  $t_{\text{час}}$  – 4 часа. При таких условиях максимальная высота волн на участке Туапсе – Сочи должна достигнуть 5-6 метров. При этом, заблаговременность предупреждения особо опасного волнения – не менее 10-12 часов.

### 3 Анализ данных волнения моря и его прогноза по данным ГМБ Туапсе

#### 3.1 Анализ волнения моря в Туапсе за период 2018-2022 гг.

Для исследования продолжительности сильного волнения были выбраны такие случаи сильного волнения, когда высота волн  $\geq 1$  м возникала на всем участке почти одновременно (в интервале не более 1 часа).

В результате статистической обработки выявилась связь между продолжительностью сильного волнения и периодом действия волнообразующих факторов. Лучше всего связь проявляется в случаях зыби от юго-запада, т.е. когда имеют место критические и выше критических значения  $\Delta P_1$  или  $\Delta P_2$ . На графике рисунок 3.1 показана зависимость продолжительности сильного волнения от продолжительности действия того или другого значения  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$ .

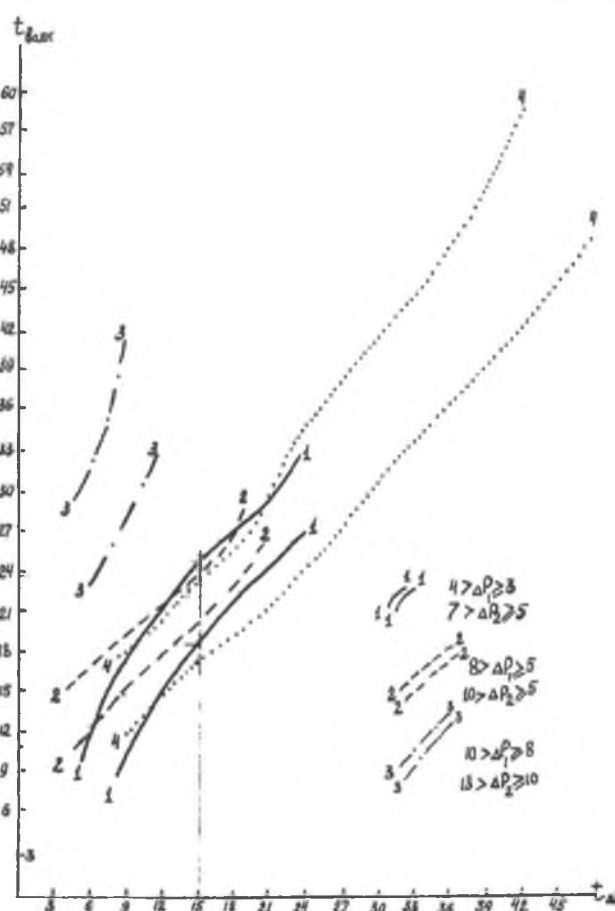


Рисунок 3.1 – График зависимости продолжительности сильного волнения ( $t$  волн) от продолжительности различных значений  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$  ( $t \Delta P$ )

Например, если  $\Delta P_1$  достигало значений 9 мб и сохранялось в течение 4-6 часов, то для определения продолжительности периода, сильного волнения следует использовать кривые «3-3». Поднимаясь по ординате, соответствующей 6 часам, до пересечения с этими кривыми, получаем продолжительность сильного волнения, которая составляет 24-30 часов.

Если величина  $\Delta P_1$  не превышала 3-4 мб и наблюдалась также в течение 6 часов, то продолжительность сильного волнения следует ожидать в пределах 7-10 часов (кривые «1-1»).

В тех случаях, когда направление волнения менялось от юго-запада к югу и юго-востоку, то следует пользоваться кривыми «4-4». Но в таких случаях за продолжительность волнообразующих факторов следует взять сумму периодов времени, когда  $\Delta P_1$  ( $\Delta P_2$ ) имели критические и выше критического значения ( $\geq 3-4$  мб) и  $\Delta P_3$  ( $\Delta P_4$ ) – более 2,5 мб, независимо от их максимальной величины.

Например, при составляющем положении штормовой зоны,  $\Delta P_1$ , а затем и  $\Delta P_2$  в течение 16 часов имели значения равные 3-8 мб, затем, после изменения направления штормовой зоны, появилась разница давления  $\Delta P_3$ , равная 3-4 мб и сохранялась 8 часов, таким образом, общая продолжительность волнообразующих факторов составила 24 часа. Входя в график со значением  $t_{\Delta P}=24$  часа, по кривым «4-4» получаем продолжительность сильного волнения 26-32 часа.

После прекращения волнообразующих факторов, продолжительность затухания сильного волнения находится в зависимости от максимального значения  $\Delta P_1$  ( $\Delta P_2$ ), но такая связь обнаруживается лишь в случаях, когда сильное волнение не меняет направления, т.е. штормовая зона в результате уменьшения активности синоптических процессов постепенно перерастает существовать.

Такие случаи наблюдаются при быстром перемещении циклонов (ложбин) в меридиональном направлении и быстром их заполнении. Так, при  $\Delta P_1$  ( $\Delta P_2$ ) достигшим значений 4 и 5 мб соответственно, высоте 1-1,5 метра

еще отмечается в течение 5-7 часов после того, как  $\Delta P1$  или  $\Delta P2$  уменьшается до 0, т.е. над морем установится безградиентное поле.

Если максимальная активность штормовой зоны оценивалась значениями  $\Delta P1$  ( $\Delta P2$ ) равными 10-12 мб, то после прекращения существования штормовой зоны, уже в условиях безградиентного поля, сильное волнение еще отмечается в течение 12-16 часов.

При  $\Delta P1$  ( $\Delta P2$ ) равным 13-16 мб, в период затухания сильного волнения составляет 20-24 часа.

Для выполнения анализа волнения моря в прибрежной акватории города Туапсе, были собраны данные со станции ГМБ Туапсе, за период с 1 февраля 2018 года до 12 декабря 2022 года (приложение 1), а именно изменения значений параметров скорости и направления ветра, и высота волны в прибрежной акватории.

Наблюдения за параметрами волнения (высотой волны), на станции ГМБ Туапсе, производятся глазомерно, с помощью волномерных реек, в сроки 09 и 15, при возникновении шторма, наблюдения учащаются и начинают проводиться в сроки 03, 09, 15, 21. Для наблюдений за скоростью и направлением ветра используется датчик скорости и направления ветра, в составе АМК, производятся наблюдения в сроки 03, 09, 15, 21.

Собранные на станции ГМБ Туапсе данные об изменении параметров скорости и направления ветра были систематизированы и обработаны в виде таблиц (приложение 1) на основании которых можно сделать вывод, что на территории прибрежной акватории Туапсе, на протяжении всех 5 лет и каждого года отдельно, доминируют северные и северо-восточные ветра.

Но с января по август усиливаются южные, юго-восточные и юго-западные ветра, которые доминировали над северными и северо-восточными направлениями с февраля по июль 2021 года. Ветра по направлению северо-запад встречаются крайне редко.

Чаще всего средняя скорость ветра колеблется в диапазоне 0-4 м/с, реже в диапазоне 4-8 м/с, крайне редко в диапазоне 8-12 м/с и единожды за 5 лет



средняя скорость ветра превысила 16 м/с.

Если посчитать среднюю скорость ветра по месяцам и годам (таблица 3.1), то можно увидеть, что средняя скорость ветра в прибрежной акватории Туапсе не превышает 3,5 м/с, что свидетельствует об умеренности ветров в акватории Туапсе [2].

Таблица 3.1 – Средняя скорость ветра (в метрах в секунду) за месяц и год, с 2018 по 2022 года

год \ мес.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Год
2018	-	2,6	2,8	2,1	1,6	1,7	2,0	1,5	2,1	2,1	3,0	3,2	2,3
2019	3,3	2,7	2,5	1,9	1,8	1,5	1,5	1,7	2,6	1,9	2,4	2,5	2,2
2020	3,4	3,4	2,2	2,5	2,0	1,7	1,9	1,8	1,9	1,9	1,7	2,1	2,2
2021	3,1	3,2	3,2	2,4	2,0	1,7	1,9	1,8	2,4	1,5	2,5	3,2	2,4
2022	3,5	2,3	3,0	2,4	2,0	1,8	1,5	1,5	2,3	2,4	2,7	2,4	2,3

Так же были составлены таблицы на основе собранных данных об изменении параметров высоты волн (таблица 3.2 и 3.3) и на основе этих таблиц были сделаны графики (рисунок 3.2 и 3.3) для более наглядной демонстрации динамики волнения на протяжении года и 5 лет [2].

Таблица 3.2 – Средняя высота волн (в метрах) за месяц и год, в срок 09

год \ мес.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Год
2018	-	0,9	1,1	0,5	0,5	0,4	0,6	0,4	0,8	0,7	0,7	1,3	0,7
2019	1,5	0,9	0,8	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	1,0	0,7
2020	1,0	1,5	0,5	0,5	0,7	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6	0,7	0,7
2021	1,2	1,1	1,0	0,8	0,7	0,8	0,6	0,6	0,8	0,6	0,7	1,6	0,9
2022	1,9	1,3	1,0	1,2	0,5	0,6	0,5	0,5	0,8	0,7	1,0	1,1	0,9

Таблица 3.3 – Средняя высота волн (в метрах) за месяц и год, в срок 15

год \ мес.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Год
2018	-	1,0	1,2	0,6	0,5	0,5	0,7	0,5	0,8	0,8	0,8	1,3	0,8
2019	1,6	0,9	1,1	0,6	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,9	1,0	0,8
2020	1,1	1,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,8
2021	1,3	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	0,9	1,7	1,0
2022	2,0	1,4	1,1	1,2	0,6	0,4	0,6	0,5	0,9	0,8	1,1	1,2	1,0

При анализе таблиц 3.2 и 3.3 и построенных по этим таблицам графиков,

видно, что за 2021 и 2022 года средняя (за год) высота волны увеличилась на 0,2 метра, в оба срока, 03 и 15. Так же видно, что, в среднем, в срок 15 высота волны больше на 0,1 метр, из чего можно сделать вывод, что волнение усиливается во второй половине суток.

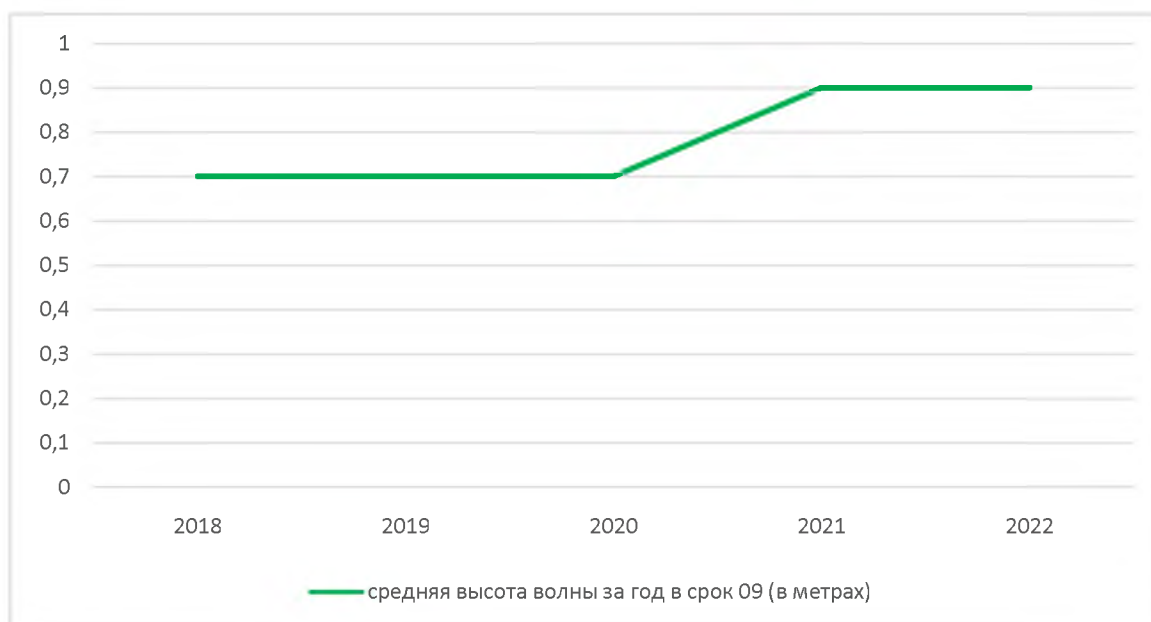


Рисунок 3.2 – Средняя высота волны за год в срок 09 (в метрах)

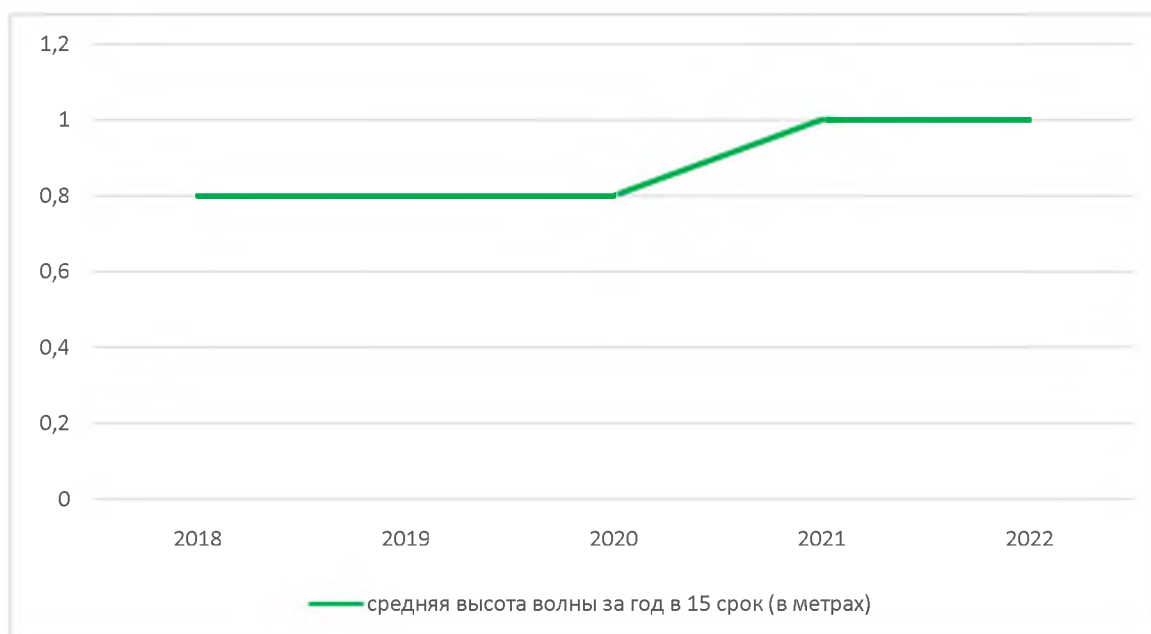


Рисунок 3.3 – Средняя высота волны за год в 15 срок (в метрах)

Также при сопоставлении данных из таблиц 3.2 и 3.3 и таблицы 3.1,

можно выявить, что на протяжении года средняя скорость ветра и средняя высота волны увеличивается, в среднем с октября по апрель, и уменьшается, с мая по сентябрь, с одной и той же тенденцией, что прослеживается при просмотре графиков (рисунки 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8), что подтверждает ветровое происхождение волн в прибрежной акватории Черного моря в области города Туапсе.

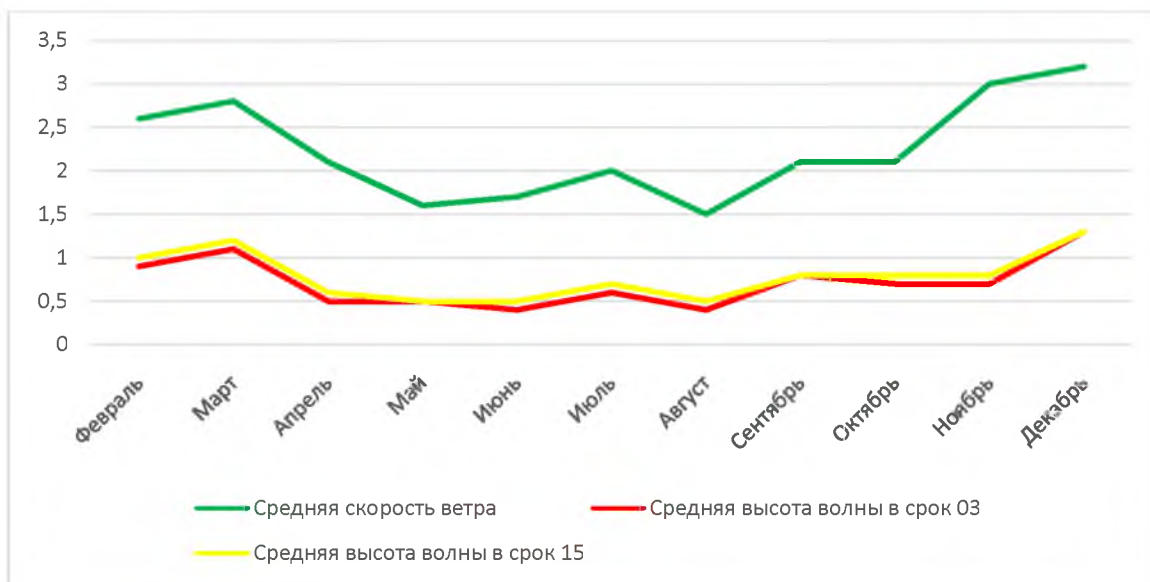


Рисунок 3.4 – Изменение параметров скорости ветра и высоты волн, на протяжении 2018 года

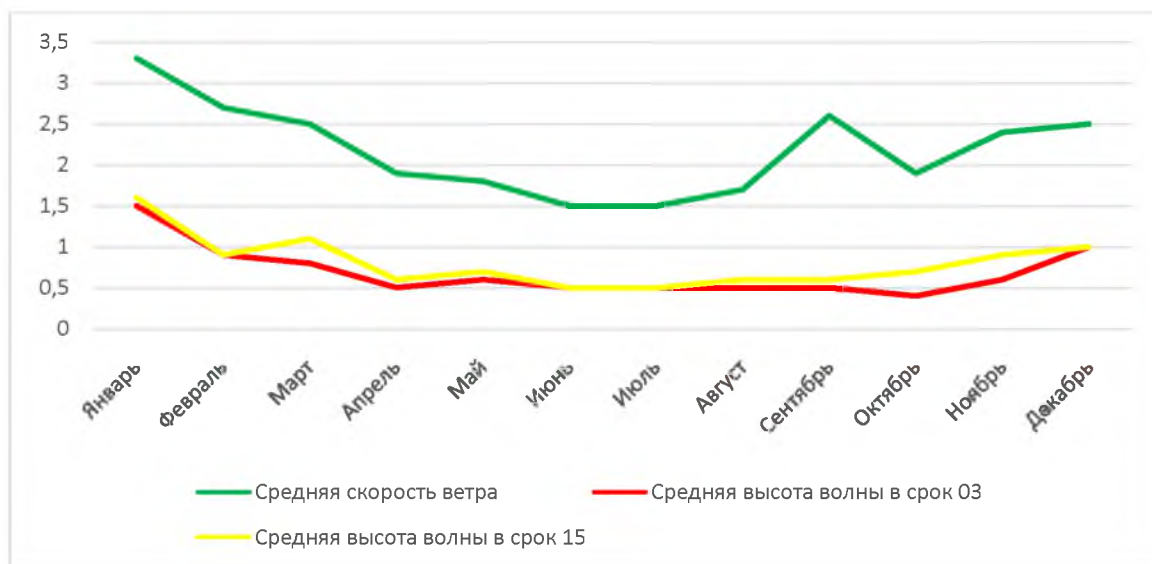


Рисунок 3.5 – Изменение параметров скорости ветра и высоты волн, на протяжении 2019 года

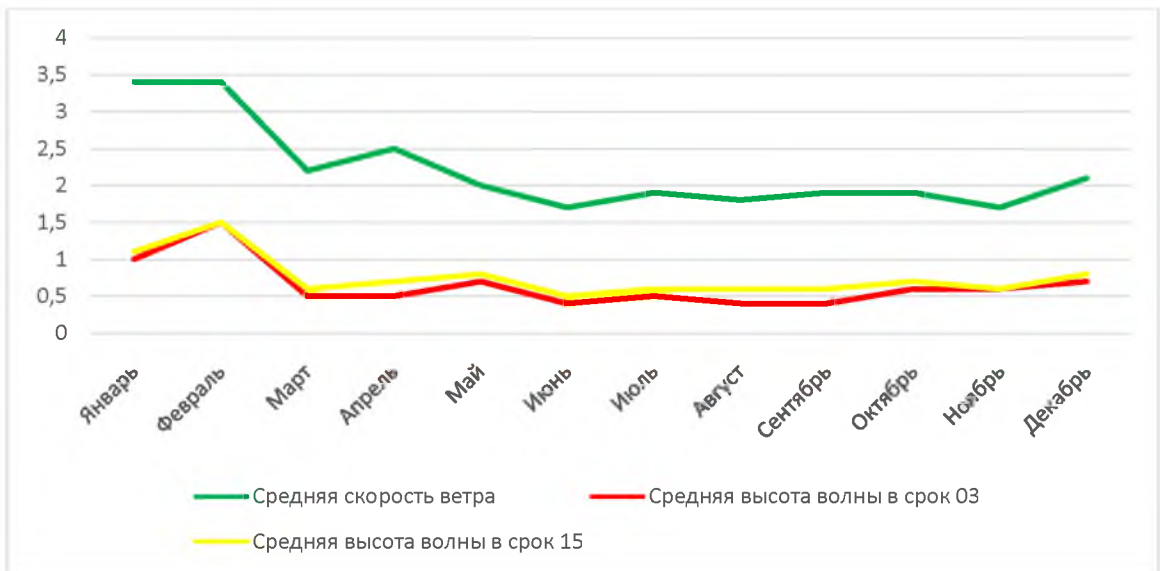


Рисунок3.6 – Изменение параметров скорости ветра и высоты волн, на протяжении 2020 года

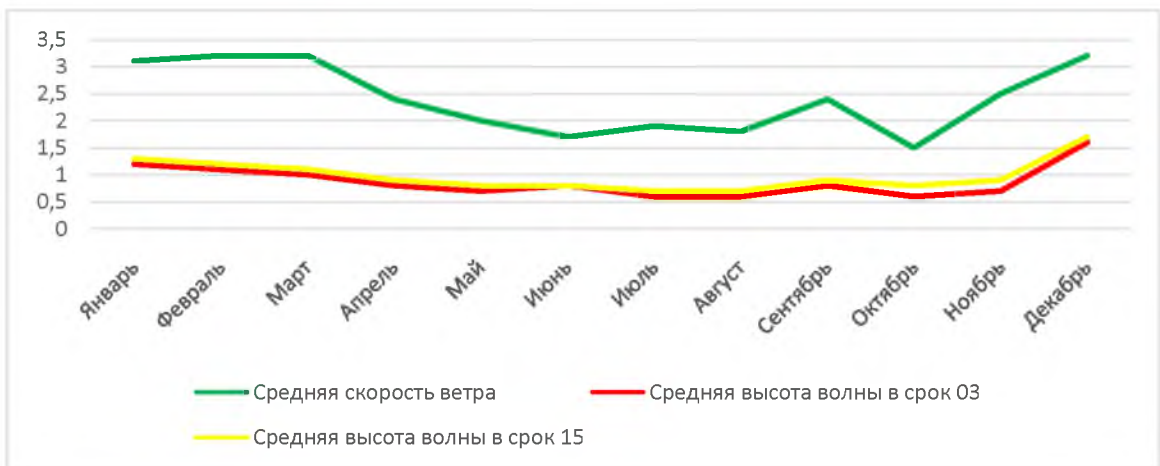


Рисунок3.7 – Изменение параметров скорости ветра и высоты волн, на протяжении 2021 года

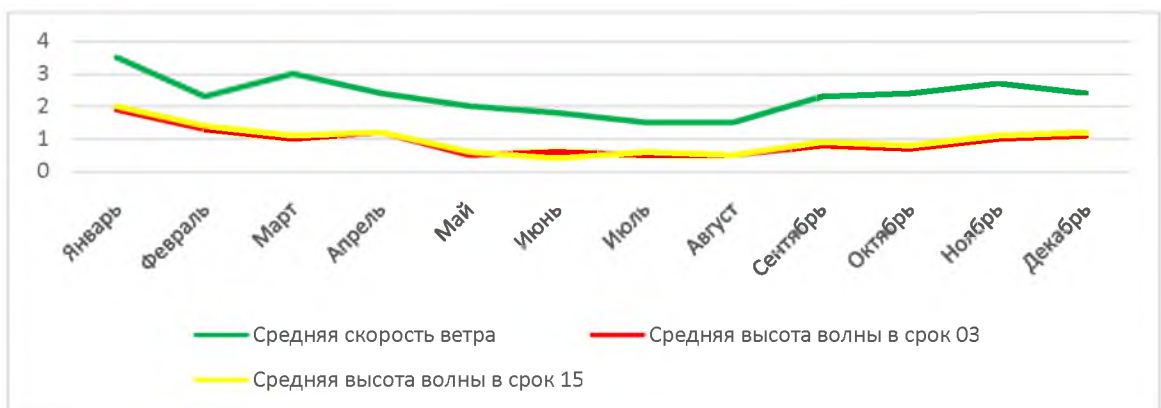


Рисунок3.8 – Изменение параметров скорости ветра и высоты волн, на протяжении 2022 года

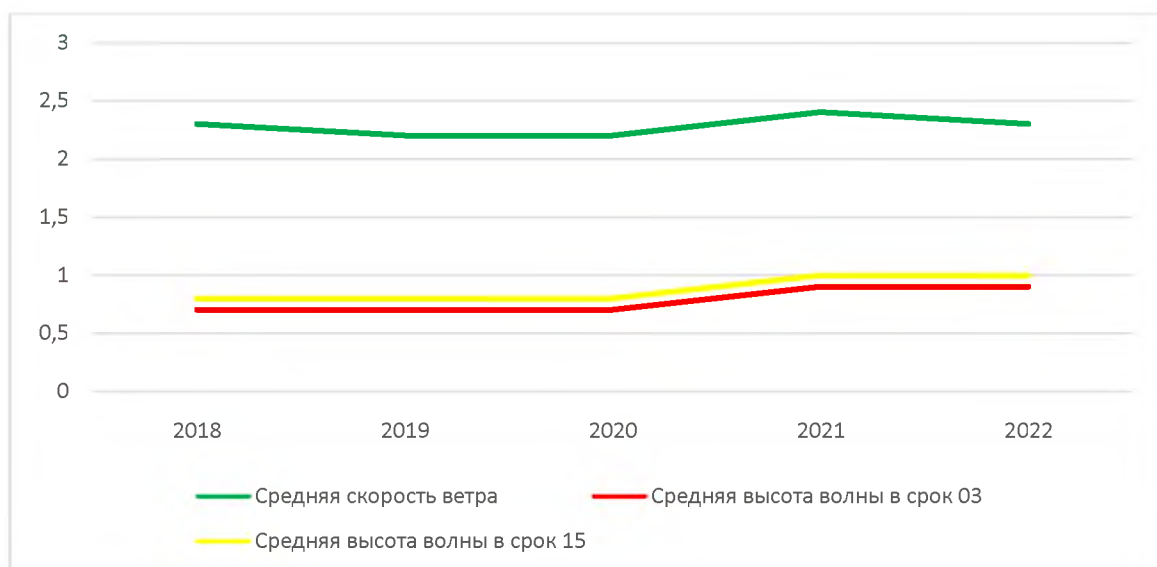


Рисунок 3.9 –Изменение параметров скорости ветра и высоты волн, на протяжении 5 лет (2018-2022)

Исходя из обработанных данных можно заключить, что волнение, в прибрежной акватории Черного моря в районе Туапсе, крайне умеренное, вызываемое ветрами, проходящими над поверхностью моря в этой области, также силой ветров обуславливается усиление и ослабление волнения.

В данном районе, на протяжении года, доминируют северные и северо-восточные ветра, но с января по август начинают усиливаться южные, юго-восточные и юго-западные и наблюдаются, практически, в равной пропорции с северными и северо-восточными.

### 3.2 Анализ оправдываемости сильного волнения моря по данным ГМБ Туапсе

Оценка оправдываемое прогнозов волнения производится в соответствии с «Наставлением по службе прогнозов», раздел 3, часть III.

Наблюдения проводятся в специально выбранных контрольных точках, которые равномерно покрывают акваторию моря.

Прогноз высоты волны считается оправдавшимся, если относительная

ошибка не превышает 30 %.

Для морей прогноз высоты волн до 1,0 м считается оправдавшимся, если фактическая высота волн от 0 до 1,0 м включительно.

На ГМБ морской прогноз записывается в специальный журнал. Фиксируются данные по скорости и направлению ветра, осадкам и высоте волн.

Форма журнала представлена на рисунке 3.10 [2].

№	НАПРАВЛЕНИЕ	СКОРОСТЬ		ОСАДКИ		ВЫСОТА ВОЛН	
		м/с	км/ч	мм	мм	м	м
27	Турция	10	18	0	0	0,5	1,0
28	Турция	10	18	0	0	0,5	1,0
29	Турция	10	18	0	0	0,5	1,0
30	Херсонская Умань	10	18	0	0	0,5	1,0
31	Херсонская Умань	10	18	0	0	0,5	1,0
ИЮНЬ 2023							
1	Турция	10	18	0	0	0,5	1,0
2	Турция	10	18	0	0	0,5	1,0
3	Херсонская Умань	10	18	0	0	0,5	1,0
4	Турция	10	18	0	0	0,5	1,0
5	Турция	10	18	0	0	0,5	1,0
6	Турция	10	18	0	0	0,5	1,0
7	Херсонская Умань	10	18	0	0	0,5	1,0
8	Турция	10	18	0	0	0,5	1,0

Рисунок 3.10 – Форма журнала с данными по морским прогнозам

На основании данных формируется гидрометеорологический бюллетень и составляется прогноз погоды по МП Туапсе, прогноз на 2 и 3 сутки, предупреждение, штормовое предупреждение.

Форма гидрометеорологического бюллетеня представлена на рисунке 3.11., а текст прогноза приводится ниже под рисунком.

Бюллетени и прогнозы сохраняются в архиве ГМБ Туапсе.

Дежурный синоптик несет ответственность за формирование прогноза.

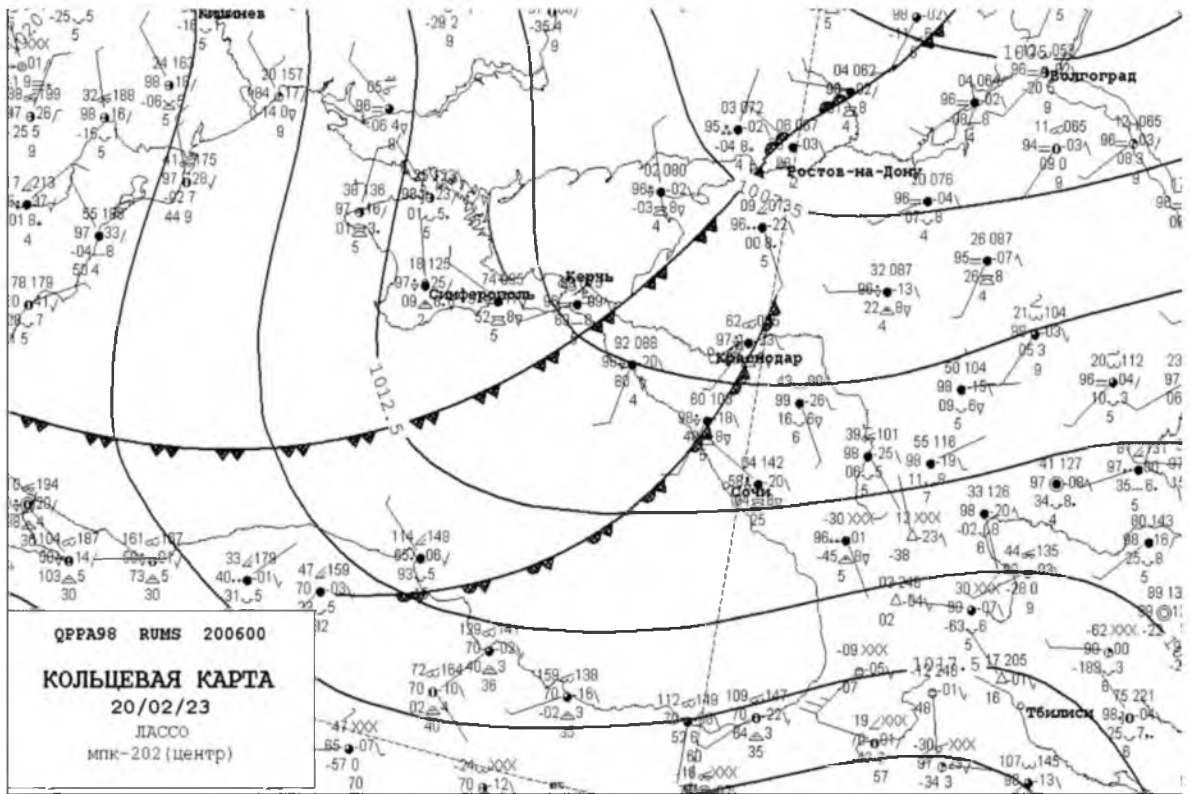


Рисунок 3.11 – Гидрометеорологический бюллетень 20 февраля 2023 г. № 51

Образец текста прогноза представлен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Прогноз погоды по данным ГМБ Туапсе

<p><b>ПРОГНОЗ ПОГОДЫ ПО МП ТУАПСЕ</b>  <b>НОЧЬ: ОТ 18.00 20.02 ДО 06.00 21.02.23</b>  <b>ВЕТЕР ЗАПАДНЫЙ, СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ С ПЕРЕХОДОМ НА ЮГО-ЗАПАДНЫЙ 12-17 М/С. ДОЖДЬ С МОКРЫМ СНЕГОМ.</b>  <b>ВИДИМОСТЬ В ОСАДКАХ 2-4 КМ. СЛАБЫЕ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫЕ ЯВЛЕНИЯ. ВЫСОТА ВОЛН 3,0-4,0 М, ЗЫБЬ ЮЗ, УМЕРЕННЫЙ ТЯГУН.</b>  <b>ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА 0-2 ГР=</b>  <b>ДЕНЬ: ОТ 06.00 ДО 18.00 21.02.23</b>  <b>ВЕТЕР ЮЖНЫЙ, ЮГО-ЗАПАДНЫЙ 20-25 М/С. ДОЖДЬ С МОКРЫМ СНЕГОМ. ВИДИМОСТЬ В ОСАДКАХ 2-4 КМ. ВЫСОТА ВОЛН 3,0-4,0 М, ЗЫБЬ ЮЗ, УМЕРЕННЫЙ ТЯГУН. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА 6-8 ГР.=</b></p>
<p><b>ПРОГНОЗ НА 2 И 3 СУТКИ:</b>  <b>22.02 - ВЕТЕР НОЧЬЮ Ю,ЮЗ 15-20 М/С, ДНЕМ 3,ЮЗ 9-14 М/С. ВЫСОТА ВОЛН НОЧЬЮ 3,0-4,0 М, ДНЕМ 2,5-3,5 М, ЗЫБЬ ЮЗ, ТЯГУН СЛАБЫЙ ДО УМЕРЕННОГО.</b>  <b>23.02 - ВЕТЕР С,СЗ 9-14 М/С. ВЫСОТА ВОЛН НОЧЬЮ 1,5-2,5 М, ЗЫБЬ ЮЗ, СЛАБЫЙ ТЯГУН, ДНЕМ 1,0-1,5 М.</b></p>
<p><b>ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ НР 18 НЯ ОТ 16.02.2023 16:50</b>  <b>17.02 К 13-17 ЧАСАМ В ПОРТУ ТУАПСЕ И ПО 19554 РАЙОНУ ОЖИДАЕТСЯ УСИЛЕНИЕ ЮЖНОГО, ЮГО-ВОСТОЧНОГО ВЕТРА 15-20 М/С. ВЫСОТА ВОЛН 1,5-2,5 М ЗЫБЬ ЮГА.</b></p>

Продолжение таблицы 3.4

ШТОРМОВОЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ НР 19 ОТ 17.02.2023 11:37 18.02 В ПЕРИОД 16-20 ЧАСОВ ОЖИДАЕТСЯ УМЕРЕННЫЙ ТЯГУН. ВЫСОТА ВОЛН 2.5-3.5 М. ЗЫБЬ ОТ ЮГО-ЗАПАДА.		
ПОГОДА ОПРЕДЕЛИТСЯ ЛОЖБИНОЙ ЦИКЛОНА С ЦЕНТРОМ НАД ЕТР.		
<i>Суточные гидрометеорологические данные за 09 ЧАС 19.02.2023 Г.</i>		
Среднесуточная температура воздуха	5.8.	Максимальная высота волн 3,5 М.
Максимальная температура воздуха	7.1.	Плотность 1014.17.
Минимальная температура воздуха	6.8.	Количество осадков: 28.2 ММ.
Максимальная скорость ветра	8м/сек.	Температура морской воды 7.4 ГР.
Максимальный порыв	17 м/сек.	

Общая оправдываемость прогноза по океану или морю определяется процентным отношением числа точек, в которых прогноз оправдался, к общему числу точек, принятых для оценки прогноза.

Оцениваем данные годового отчета оправдываемости прогноза сильного волнения моря, который проводится на ГМБ Туапсе по методу Митиной В.А.[2].

Оценка производится за период 2014-2022 года. Данные брались из архива ГМБ Туапсе. Формированием отчета занимается старший синоптик ГМБ Туапсе.

Форма таблицы утверждена Краснодарским ЦГМС куда и отправляется данный отчет. За данный период времени форма отчета не менялась.

Общие сведения о средней оправдываемости сильного волнения моря по методу Митиной В.А. по данным ГМБ Туапсе по Туапсе и Туапсинскому району за период 2014-2022 года представлены в таблице 3.5.

На основании данных полученных из таблиц построены графики динамики числа прогнозов волнения моря и числа оправдавшихся прогнозов за период за период 2014-2022 года (рисунок 3.12) и график процента оправдываемости и предупрежденности прогноза волнения моря за период 2014-2022 года (рисунок 3.13).



Таблица 3.5 – Сведения о средней оправдываемости сильного волнения моря по методу Митиной В.А. по данным ГМБ Туапсе по Туапсе и Туапсинскому району за период 2014-2022 года [2]

№	год	Оправдываемость прогнозов									Пре- ден- нос- ть явле- ния (Пя) %
		общая			с явлением			без явления			
		Число прогно- зов, N	Число опр., n	P %	Число прогно- зов, N1	Число опр., n1	P1 %	Число прогно- зов, N2	Число опр., n2	P2, %	
1	2014	405	396	98	159	154	97	246	242	98	98
2	2015	390	380	97	139	133	96	251	247	98	97
3	2016	365	350	96	130	122	94	235	228	97	95
4	2017	360	349	97	167	161	96	193	188	97	97
5	2018	234	223	95	136	130	96	98	93	95	96
6	2019	237	236	100	87	86	99	150	150	100	100
7	2020	195	190	97	111	107	96	84	83	99	99
8	2021	335	318	95	226	220	97	109	98	90	95
9	2022	210	207	99	121	121	100	89	86	97	98

Анализ по сведениям о средней оправдываемости сильного волнения моря по методу Митиной В.А. по данным ГМБ Туапсе по Туапсе и Туапсинскому району за период 2014-2022 года данных показал, что больше всего прогнозов волнения моря, а следовательно, и самого волнения моря было в 2014 году и составило 405 прогнозов, меньше всего – в 2020 году и составило 195 прогнозов. Процент оправдываемости прогнозов высокий, составляет от 95 до 100%.

Динамика число прогнозов волнения моря и число оправдавшихся прогнозов за период за период 2014-2022 года показывает, что с периода 2014 года по 2017 год идет снижение числа прогнозов волнения моря, а следовательно и самого волнения и только в 2021 году снова практически доходит до предыдущих результатов.

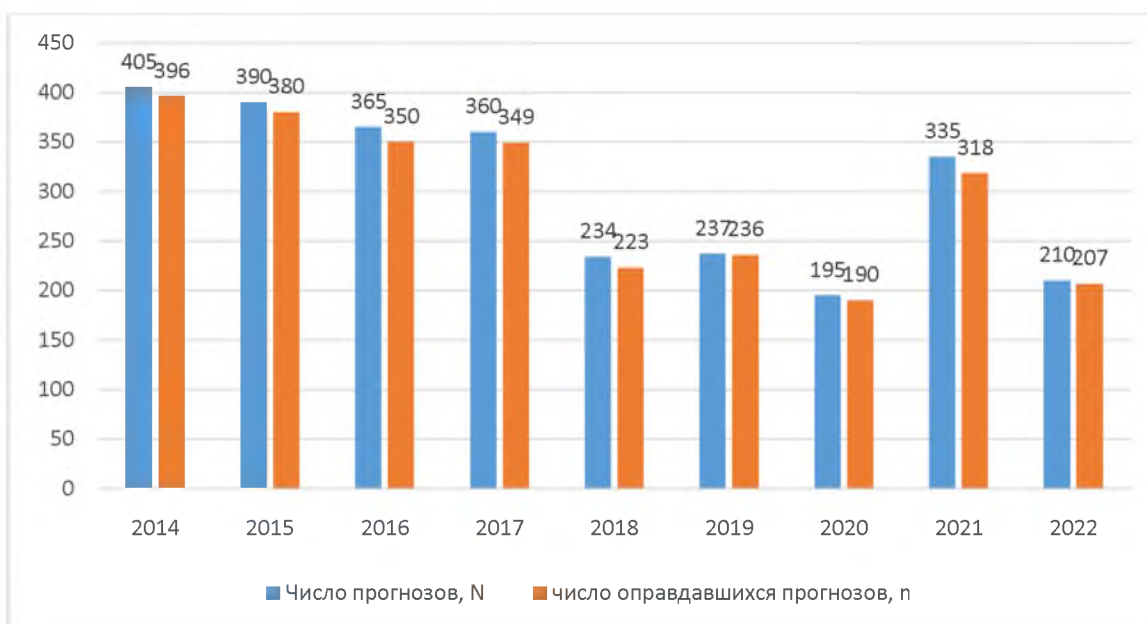


Рисунок 3.12 – Число прогнозов волнения моря и число оправдавшихся прогнозов за период за период 2014-2022 года

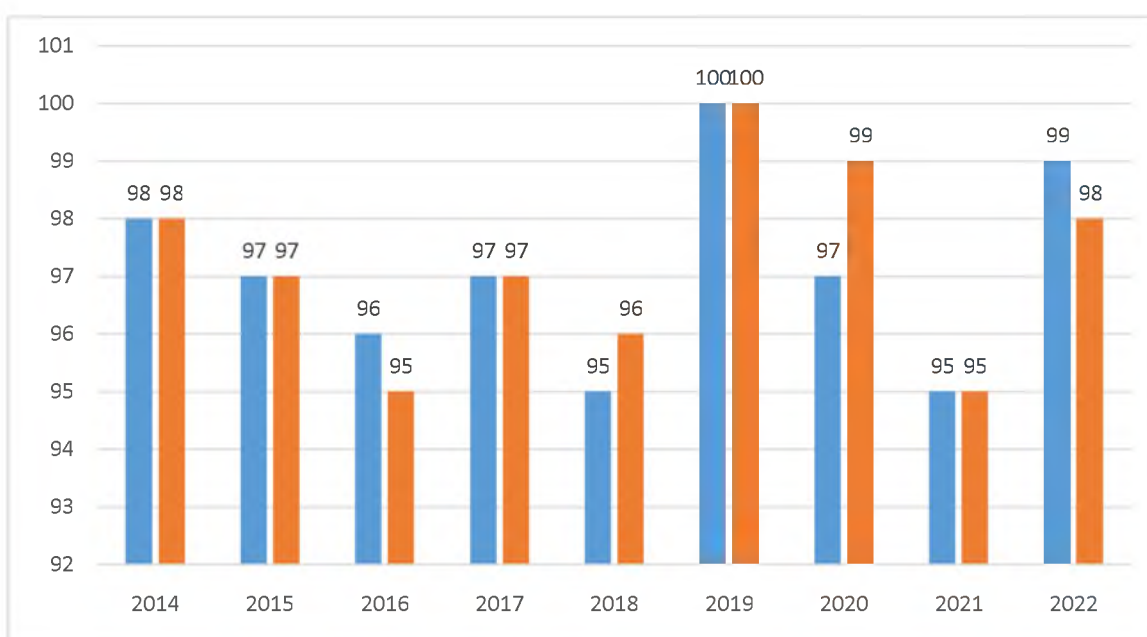


Рисунок 3.13 – Процент оправдываемости и предупреденности прогноза волнения моря за период 2014-2022 года

Анализ рисунка 3.13 показывает, что в 2014 году оправдываемость и предупреденность одинаковая и составляет – 98%, 2015 и 2017 годах оправдываемость и предупреденность одинаковая и составляет – 97%, в 2018 году оправдываемость и предупреденность одинаковая и составляет – 96%, в

2019 году оправдываемость и предупрежденность одинаковая и составляет 100%, в 2021 году оправдываемость и предупрежденность одинаковая и составляет – 95%.

Работу прогностического подразделения можно считать высокой, так как % оправдываемости и предупрежденности прогнозов высокий.

## Заключение

В результате проделанной работы сделаны следующие выводы:

– Морские волны возникают под действием давления воздушных масс, движущихся над водной поверхностью.

– Существуют различные методы и средства наблюдений за элементами волн. Эти методы делятся на визуальные, контактные и дистанционные.

– Для оперативных целей используются методы и средства, которые описаны в руководящих документах и в наставлениях. Основным документом является РД 52.10.842-2017.

– Преобладающие формы сильного волнения на исследуемом участке – зыбь и смешанное. Сильное волнение является следствием той или иной активности синоптических процессов над морем и возникает в случаях, когда над определенными районами акватории образуется штормовая зона – зона, где имеют место скорости ветра, соответствующие среднему горизонтальному градиенту давления более  $1 \text{ мб}/1^\circ$  меридиана.

– Доминируют северные и северо-восточные ветра. С января по август усиливаются южные, юго-восточные и юго-западные ветра, которые доминируют над северными и северо-восточными направлениями с февраля по июль. Ветра по направлению северо-запад встречаются крайне редко.

– Чаще всего средняя скорость ветра колеблется в диапазоне 0-4 м/с, реже в диапазоне 4-8 м/с, крайне редко в диапазоне 8-12 м/с и единожды средняя скорость ветра превысила 16 м/с.

– Средняя скорость ветра по месяцам и годам не превышает 3,5 м/с, что свидетельствует об умеренности ветров в акватории Туапсе.

– Прогноз волнения осуществляется по методу Митиной.

– Для более оперативной и объективной оценки активности штормовой зоны, оценки ее эволюции в пространстве и времени, предлагается учитывать не горизонтальные барические градиенты или соответствующие им скорости ветра, а разность давления в определенных направлениях, в зависимости от

положения штормовой зоны относительно исследуемого участка.

– Начало сильного волнения находится в зависимости от расстояния до штормовой зоны, т.е. в каком квадрате (I, II, III, IV или V) возникла штормовая зона.

– Сильное волнение от юго-запада зависит от абсолютного значения  $\Delta P_1$  или  $\Delta P_2$  и достигает 6-7 метров в районе Туапсе при  $\Delta P_1$  ( $\Delta P_2$ ) – 14-17 мб.

– Сильное волнение от юга и юго-востока возникает при направлении изобар в штормовой зоне  $270-140^\circ$ , в значениях  $\Delta P_3$  и  $\Delta P_4 \geq 2,5$  мб, при условии существования таких значений не менее 3-5 часов. Максимальная высота волн от юга и юго-востока достигает 4-4,5 метров и отмечается в районе Геленджика и Туапсе, при значениях  $\Delta P_3$  ( $\Delta P_4$ ) равных 7-8 мб.

– Прохождение активных холодных фронтов меридиана Анапы вызывает усиление волнения на участке Джубга – Туапсе; при прохождении фронтом района Джубги, волнение усиливается на участке Туапсе – Сочи.

– Фронтальное усиление волнения тем вероятнее, чем направление изобар, пересекающих фронт, ближе к нормальному (северо-западное, северное, северо-северо-восточное), а перед фронтом – ближе к нормальному угол между направлением изобар и береговой линией (юго-западное).

– При контрасте температуры в зоне 7-8 град./500 км (по 250 км в обе стороны от фронта) максимальные высоты волн (3-5% обеспеченности) соответствуют максимальному значению  $\Delta P_1$  ( $\Delta P_2$ ) плюс 1-2 мб, при  $\Delta P_1$  или  $\Delta P_2 \geq 9-12$  мб, максимальная высота волн определяется по графику и максимальному значению  $\Delta P_1$  ( $\Delta P_2$ ) плюс 3-5 мб.

– Продолжительность сильного волнения зависит от продолжительности действия волнообразующих факторов. При  $\Delta P_1$  ( $\Delta P_2$ ) близком 6 мб и  $\Delta P_3$  ( $\Delta P_4$ )  $\approx 5$  период продолжительности сильного волнения близок к периоду существования указанных значений разницы давления.

– Процент оправдываемости прогнозов высокий, составляет от 95 до 100%.

## Список использованной литературы

1. Абузяров, З.К. Морское волнение и его прогнозирование. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 159 с.
2. Архив ГМБ Туапсе
3. Барашкова, Н.К., Кижнер, Л.И., Кужевская, И.В. Атмосферные процессы: динамика, численный анализ, моделирование. – Томск: изд. Том. гос. ун-та, 2012. – 312 с.
4. Беркович, Л.В., Ткачева, Ю.В. Гидродинамический краткосрочный прогноз погоды в пунктах // Метеорология и гидрология. 2010. №4. С. 45-51.
5. Бегалишвили, Н. А., Берадзе, Н.И. и др. Проблема изменения климата в горных странах (на примере Грузии) // Метеорология и гидрология. - 2006 - № 3. – С. 21-29.
6. Белинский, Н.А. Морские гидрометеорологические информации и прогнозы. – Л.: ГИМИЗ, 1956. – 254с.
7. Вовченко, Л. Ч. Чрезвычайные (опасные) гидрометеорологические явления на Северном Кавказе, Нижнем Дону, Нижнем Поволжье. Сборник работ Ростовской ГМО, выпуск 7. - Ростов-на-Дону, 1967. – 247с.
8. Воробьев, В.И. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 581 с.
9. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Черное море. Гидрометеорологические условия. Том IV, вып. 1. – СПб.: Гидрометеоздат, 1991. – 429 с.
10. Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. – 2004. - № 4. - С. 5 - 11.
11. Демьянов, В.В. Попов, В.В. Научные осмысления опыта создания информационной сети ГМССБ на Юге России. – Ростов-на-Дону – Новороссийск, 1999. – 640 с.

12. Ефремов, Ю.В. Ильичев, Ю.Г. Хребты большого Кавказа и их влияние на климат. - Краснодар: Просвещение-Юг, 2001. – 145 с.
13. Занина, А.А. Кавказ. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 290 с.
14. Истошин, Ю.В. Океанография. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. –455 с.
15. Матвеев, Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 243 с.
16. Монин А.С. Гидродинамика атмосферы океана и земных недр. – СПб.: Гидрометеиздат, 1999. – 524 с.
17. Наставление по морским гидрологическим наблюдениям. III часть. – Л. Гидрометеиздат, 1981. - 264 с.
18. Наставление по службе прогнозов. Раздел 2. ч. III, IV, V. - Л.: Гидрометеиздат, 1981.– 284 с.
19. Национальный Атлас России. Ветровой режим. [Электронный ресурс] URL: <https://nationalatlas.ru/tom2/172.html> (дата обращения: 02.05.2023)
20. РД 52.10.842-2017. [Электронный ресурс] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739141.pdf> (дата обращения: 12.05.2023)
21. Руководство по терминологии и оценке специализированных гидрометеорологических прогнозов. – М: изд. Москва, 2004. – 56 с.
22. Русин, И.Н. Современные методы метеорологических прогнозов. Л.: Изд. ЛПИ, 1987. – 96 с.
23. Сайт Росгидромета. [Электронный ресурс] URL: <https://www.meteorf.gov.ru>. (дата обращения: 24.05.2023)
24. Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. [Электронный ресурс] URL: <https://yugmeteo.donpac.ru/upravlenie/nc/> (дата обращения: 24.04.2023)
25. Сергин С. Я., Яйли Е. А., Цай С. Н., Потехина И. А. Климат и природопользование Краснодарского Причерноморья. - СПб.: Изд. РГТМУ, 2001. - 188 с.

26. Справочник по климату Черного моря. - Л.: Гидрометеиздат, 1974.  
– 406с.
27. Темникова, И.С. Климат Северного Кавказа и прилегающих степей.  
- Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 367 с.