

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Дальневосточный государственный технический  
рыбохозяйственный университет»  
ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»**

**Мореходный институт**

**Кафедра «Судовождение»**

**Л. И. Мезенцева**

*Методические указания по выполнению курсовой работы*  
**для студентов по направлению подготовки 26.05.05 «Судовождение» по**  
**курсу**  
**«Гидрометеорологическое обеспечение судовождения»**

**СУДОВОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ**

**Владивосток  
Дальрыбвтуз  
2020**

УДК 656.61.052:551(075.8)

ББК 26.23 я 73

Авторский знак М 442

Методические указания по выполнению курсовой работы рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «Судовождение» Мореходного института, протокол № 12 от 9 июня 2020 г.

Автор – Л.И. Мезенцева

Рецензент – к. т. н., доцент, заведующий кафедры «Судовождение», И. С. Карпушин

© Дальневосточный государственный  
технический рыбохозяйственный  
университет, 2020

## ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Цель курсовой работы по дисциплине «Гидрометеорологическое обеспечение судоходства» – формирование знаний и навыков в области прогнозирования метеорологических и океанографических условий, умений пользоваться картами погоды, навигационными гидрометеорологическими пособиями.

В соответствии с требованиями Международной конвенции по подготовке, дипломированию моряков и несению вахты (ПДМНВ 78/95) и соответствующих Резолюций ассамблеи ИМО определён перечень вопросов по проблеме гидрометеорологического обеспечения мореплавания, рекомендуемых для изучения в высших учебных заведениях морского транспорта. Программа подготовки вахтенных помощников капитана требует приобретения практических навыков и знание теории по целому ряду вопросов: производство срочных судовых гидрометеорологических наблюдений, использование на практике гидрометеорологических пособий, сводок, прогнозов погоды и состояния моря, штормовых предупреждений, факсимильных и электронных карт погоды, прогнозирование погоды на малые сроки (12–24 ч) и ряд других.

Именно эти знания, умения и навыки формируются в процессе выполнения курсовой работы:

- знать характеристики различных систем погоды, основы теории морского волнения, течений, ледовых явлений, влияние гидрометеорологических условий на судоходные качества судна;

- уметь анализировать и грамотно интерпретировать аналитические и прогностические карты погоды, пользоваться необходимыми гидрометеорологическими пособиями, уметь рассчитать потери скорости хода судна на ветре и волнении;

- владеть гидрометеорологической терминологией, владеть навыками составления прогноза погоды на короткие сроки по маршруту и в районе плавания судна.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ВАРИАНТЫ КУРСОВЫХ ЗАДАНИЙ

Для выполнения курсовой работы используются рекомендованная литература для изучения курса «Гидрометеорологическое обеспечение судоходства» и настоящие методические указания, а также набор карт анализа и прогноза разной заблаговременности, см. Приложение. Набор синоптических карт выдается преподавателем либо формируется самостоятельно на примере комплекта карт в Приложении. Время выхода по маршруту определяется исходной датой набора синоптических карт.

Номер варианта курсовой работы соответствует номеру обучающегося в списке группы на момент учебного года. Всего 20 вариантов заданий, приведенных в таблице 1.

Таблица 1

### Содержание вариантов курсовой работы с 1 по 20

| № варианта | $V_0$ – скорость на тихой воде, узлы | $D_B$ – весовое водоизмещение, т | Главные размеры судна:<br>L, B, d | Маршрут                                      |
|------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| 1          | 13                                   | 4000                             | L = 80 м, B=14 м, d=5,5 м         | Владивосток – Сангарский пр-в                |
| 2          | 13                                   | 4000                             | L = 80 м, B=14 м, d=6,0 м         | Сангарский пр-в – м. Лопатка                 |
| 3          | 13                                   | 4000                             | L = 80 м, B=14 м, d=6,0 м         | Владивосток – Корейский пр-в                 |
| 4          | 13                                   | 5500                             | L = 90 м, B=15 м, d=6,5 м         | Пр-в Лаперуза – м. Лопатка                   |
| 5          | 11                                   | 6000                             | L = 45 м, B=8 м, d=3,5 м          | 4-ый Курильский – 50° с. ш., 180°            |
| 6          | 12                                   | 6000                             | L = 50 м, B=9 м, d=4,0 м          | Охотск – Южно-Сахалинск                      |
| 7          | 12                                   | 6000                             | L = 65 м, B=13 м, d=5,0 м         | Сангарский пр-в – Владивосток                |
| 8          | 13                                   | 7000                             | L = 75 м, B=13 м, d=5,5 м         | м. Лопатка – 50° с. ш., 180°                 |
| 9          | 12                                   | 4000                             | L = 50 м, B=9 м, d=4 м            | Корейский пр-в – Шанхай                      |
| 10         | 13                                   | 7000                             | L = 55 м, B=11 м, d=4,5 м         | Пр-в Лаперуза – Магадан                      |
| 11         | 13                                   | 4000                             | L = 80 м, B=14 м, d=5,5 м         | 50° с. ш., 150° в. д. – 50° с. ш., 170° в.д. |
| 12         | 13                                   | 9000                             | L = 80 м, B=14 м, d=6,0 м         | 50° с. ш., 160° в. д. – 50° с. ш., 180°      |
| 13         | 13                                   | 7000                             | L = 80 м, B=14 м, d=6,0 м         | 40° с. ш., 150° в. д. – 33° с. ш., 140° в.д. |

| № варианта | $V_0$ – скорость<br>на<br>тихой воде,<br>узлы | $D_B$ – весовое<br>водоизмещени<br>е, т | Главные размерения<br>судна:<br>L, B, d | Маршрут   |
|------------|---|---|---|---|
| 14         | 13  | 7000                                    | L = 90 м, B=15 м, d=6,5 м               | 32° с. ш., 140° в. д. – 30°<br>с. ш., 128° в.д.   |
| 15         | 11  | 4000                                    | L = 45 м, B=8 м, d=3,5 м                | Петропавловск-<br>Камчатский –<br>55° с. ш., 180° |
| 16         | 12  | 5000                                    | L = 50 м, B=9 м, d=4,0 м                | 50° с. ш., 180° –<br>м. Лопатка                   |
| 17         | 12  | 5000                                    | L = 65 м, B=13 м, d=5,0 м               | м. Терпения –<br>зал. Шелихова                    |
| 18         | 13  | 7000                                    | L = 75 м, B=13 м, d=5,5 м               | Ванино – Ольга                                    |
| 19         | 12  | 5000                                    | L = 50 м, B=9 м, d=4 м                  | Зарубино –<br>Ниигата                             |
| 20         | 13  | 6000                                    | L = 55 м, B=11 м, d=4,5 м               | 50° с. ш., 150° в. д. – 35°<br>с. ш., 150° в.д.   |

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература

1. Мезенцева, Л.И. Практикум по гидрометеорологическому обеспечению судоходства и промысла: учеб.-метод. пособие /Л.И. Мезенцева, В.П. Тунеголовец. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010. – 275 с.
2. Мезенцева, Л.И. Карты погоды для судоводителей: учеб.-метод.е пособие / Л.И. Мезенцева / Рекомендовано Дальневосточным региональным учебно-методическим центром (ДВ РУМЦ) в качестве учебного пособия для студентов специальности 26.05.05 «Судовождение» вузов региона. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2017. – 58 с.
3. Мезенцева, Л.И. Погодные условия в циклонах и антициклонах: учеб.-метод. пособие / Л.И. Мезенцева. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2015. – 50 с.
4. Тунеголовец, В.П. Навигационная гидрометеорология. Часть 2. Навигационная океанография: учеб. пособие / В.П. Тунеголовец, И.С. Карпушин. – Владивосток, Дальрыбвтуз, 2006. – 174 с.
5. Тунеголовец, В.П. Навигационная гидрометеорология. Часть 3. Гидрометеорологическое обеспечение судоходства и промысла: учеб. пособие / В.П. Тунеголовец, А.А. Иванова, И.С. Карпушин. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2006. – 155 с.

### Дополнительная литература

1. Атлас облаков / под. Ред. Л. К. Сурыгиной // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) – СПб: Гидрометеоиздат, 2006. – 51 с.
2. Гордиенко, А.И. Гидрометеорологическое обеспечение судовождения: учебник для вузов / А.И. Гордиенко, В.В. Дремлюг. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
3. Дремлюг, В.В. Навигационная гидрометеорология: учебник для вузов / В.В. Дремлюг, Л.С. Шифрин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1978. – 304 с.
4. Код для составления гидрометеорологических радиogramм на судах КН-01с (Сокращенный вариант единого кода КН-01). Международная форма FM 13-VII SHIP. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 58 с.
5. Козырь, Л.А. Управление судном в шторм / Л.А. Козырь, Л.Р. Аксютин. – 3-е изд. испр. и доп. – Одесса: Феникс, 2006. – 218 с.
6. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 г. Третье сводное издание 2011 года. – Лондон: Международная морская организация, 2013. – 427 с.
7. Океанографические таблицы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 120 с.
8. Плотников, В.В. Использование гидрометеорологической (ледовой) информации для обеспечения безопасности мореплавания в холодный период на дальневосточных морях: метод. указания / В.В. Плотников. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 1998. – 43 с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ «СУДОВЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ»

Курсовая работа должна содержать обязательные разделы:

Введение.

Часть 1. Климатический режим по маршруту.

Часть 2. Диагноз (обзор) синоптического положения в день начала работ и истории за 12 часов.

Часть 3. Прогноз синоптического положения и прогноз элементов погоды на трое суток по маршруту судна.

Часть 4. Расчет ветроволновых потерь скорости судна.

Заключение.

Используемая литература.

Приложение (комплект карт).

### ***ВВЕДЕНИЕ***

Во введение должны быть изложены цель и задачи курсовой работы, исходные данные по варианту: скорость судна на чистой воде, водоизмещение, начальные и конечные координаты маршрута с географической привязкой, время начала маршрута (зависит от комплекта карт).

Кроме этого введение включает полное описание комплекта синоптических карт, по которым выполняются разделы 2–3. Под описанием карт понимается следующая информация: название карты, регион, дата и время действия карты, для прогностических карт – заблаговременность. Можно дополнительно указать периодичность обновления карт и др. информацию о картах погоды.

Объем раздела – 1–2 стр.

### ***Часть 1. Климатический режим по маршруту***

Маршрут судна определен вариантом работы. Для подготовки раздела используются лоции, справочники, монографии и т.п., содержащие описание среднего многолетнего (климатического) гидрометеорологического режима по району работ.

Раздел должен включать подразделы:

- ветровой режим в районе работ в соответствующий период года;
- режим штормового волнения в районе работ в соответствующий период года;
- термический режим воздуха в районе работ;
- термический режим воды в районе работ;
- ледовый режим в районе работ;
- основные пути перемещения циклонов и антициклонов в соответствующий период года, вероятность выхода тайфунов;
- обледенение судов.

Объем раздела – 7–10 стр. Может включать климатические карты распределения гидрометеорологических характеристик.

В качестве дополнительных рекомендуемых источников литературы могут

быть:

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том X. Берингово море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1999. – 299 с.

2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1998. – 342 с.

3. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том VIII. Японское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 2003. – 398 с.

4. Сборник карт и описаний типовых атмосферных процессов, обуславливающих возникновение на акватории Охотского моря опасных и особо опасных для мореплавания и рыболовства гидрометеорологических явлений. – М.: Фабрика офсетной печати ВНИИГМИ-МЦД, 1983.

5. Сборник карт и описаний типовых атмосферных процессов, обуславливающих возникновение на акватории северной части Тихого океана моря опасных и особо опасных для мореплавания и рыболовства гидрометеорологических явлений. – М.: Фабрика офсетной печати ВНИИГМИ-МЦД, 1983.

6. Сборник карт и описаний типовых атмосферных процессов, обуславливающих возникновение опасных и особо опасных для мореплавания и рыболовства гидрометеорологических явлений в Беринговом море. – М.: Фабрика офсетной печати ВНИИГМИ-МЦД, 1983.

7. Тунеголовец, В.П. Режим сильных ветров дальневосточных морей и северной части Тихого океана: учеб.-метод. пособие / В.П. Тунеголовец, А.А. Иванова, И.С. Карпушин. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2008. – 178 с.

## ***Часть 2. Диагноз (обзор) синоптического положения в день начала работ с использованием истории за 12 часов***

Одним из основных принципов синоптического анализа является историческая последовательность, поэтому обязательной процедурой при прогнозировании является диагноз синоптической ситуации на начало работ с использованием истории за предыдущие сутки. Только имея правильное представление о развитии атмосферных процессов, о перемещении и эволюции синоптических объектов за прошедший период, можно дать правильную оценку их текущего состояния и судить о их будущем развитии.

Обзор синоптической ситуации в идеальном случае должен включать:

### ***1. Анализ основных барических образований:***

1.1. Географическое положение центров действия атмосферы по району действия карт приземного анализа: сибирский антициклон, северотихоокеанский субтропический антициклон, алеутская депрессия, а также давление в центре этих барических образований, изменения за 12 часов или сутки (тенденция).

1.2. Географическое положение других барических образований, расположенных вблизи местонахождения судна, давление в их центре, направление и скорость смещения, изменение давления за 12 часов или сутки, горизонтальная протяженность барического образования (величина большой и

малой полуоси или диаметр в случае квазикруговых изобар), изменение за 12 часов. Интенсивность изаллобарических очагов в зоне барических объектов. По картам барической топографии определить тип высотного поля над барическим объектом (циклон, антициклон, ложбина, гребень).

1.3. На основании п. 1.2 определить стадию развития барического образования, обосновать (можно изложить теорию).

1.4. Указать (предположить) направление будущего перемещения и эволюцию барического образования.

## 2. Анализ положения и состояния атмосферных фронтов:

2.1. Определить тип атмосферного фронта (по географическому и термодинамическому свойствам).

2.2. По картам АТ850 или приземным картам определить контраст температуры воздуха в градусах в зонах холодного и теплого фронтов хотя бы для двух точек на каждом фронте.

Контраст температуры определяется как разность температур на концах нормали длиной 600 км к линии фронта (большая часть отрезка откладывается в сторону холодной воздушной массы).<sup>1</sup>

2.2. Проанализировать условия погоды в зоне атмосферных фронтов: виды облачности, явления, направление и скорость ветра по разные стороны от фронта, барическая тенденция по разные стороны от фронта.

3. Рассмотреть свойства воздушных масс, разделенных атмосферными фронтами. Обратит внимание на условия погоды в различных секторах барического образования. Выявить однородные воздушные массы на картах, связанные с циклонами и антициклонами, либо их частями. Для этого:

3.1. Определить положение и тип хотя бы двух воздушных масс (по географическому и термодинамическому признакам).

3.2. Обосновать термодинамическое состояние воздушной массы (теплая, холодная, устойчивая, неустойчивая, нейтральная), используя данные об облачности, видимости, явлениях погоды в зоне их действия.

4. Определить погодные условия в начале маршрута, в том числе зоны повышенного и слабого волнения по картам анализа волны и влияющие синоптические объекты.

Для выполнения работ используются синоптические карты за два последовательных срока, диагностические карты волнения и карты барической топографии.

Для наглядности карты можно «поднять» (раскрасить). Края суши целесообразно подкрасить светло-коричневым цветом, края океанов и морей — светло-голубым, теплые фронты обвести красным карандашом, холодные — синим, фронты окклюзии — коричневым, зоны осадков подкрасить зеленым цветом, зоны туманов — желтым. Кроме того, по данным барической тенденции можно выделить на приземной карте зоны роста и падения атмосферного давления.

---

<sup>1</sup> При работе с картой помните, что 1° дуги меридиана равен 111 км.

Рекомендуется перенести на анализируемую карту с карты за предыдущий срок положение центров основных барических образований и положение атмосферных фронтов.

Пример анализа синоптической обстановки по карте приземного анализа за 00 ВСВ 23 ноября 2019 г. и истории за 12 часов (карты за 12 ВСВ 22 ноября 2019 г.):

Фрагмент карты приземного анализа по району Восточная Азия и северо-западная часть Тихого океана приведен на рис 1. Карта выпущена Японским метеорологическим агентством, транслирующая станция – JMН, действительна на 00 ВСВ (всемирное скоординированное время) 23 ноября 2019 г.

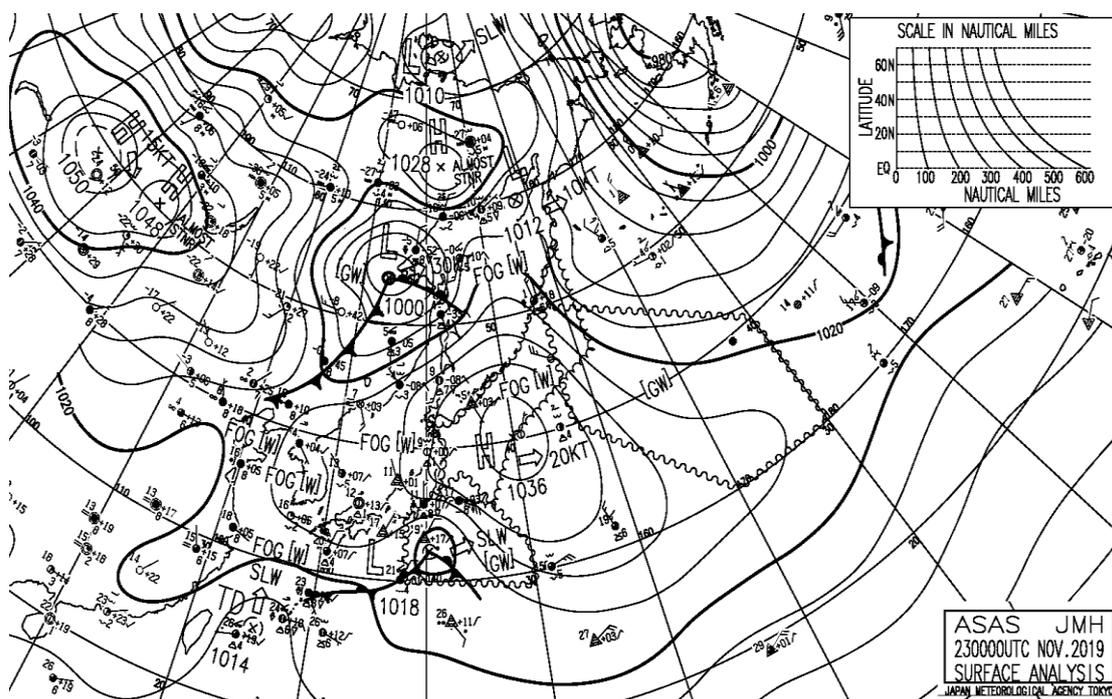


Рис. 1. Фрагмент карты приземного анализа от Японского метеорологического агентства за 00 ВСВ 23.11.2019

Сибирский антициклон представлен двумя ядрами высокого давления, максимальное давление в его области – 1050 гПа. Является малоподвижным барическим объектом, давление в центрах в течение 12 ч выросло на 6 гПа. В отроге над Колымой давление в центре ядра составляет 1028 гПа. Колымское ядро также является малоподвижным, давление в его области не меняется.

Антициклон над северо-западной частью Тихого океана с давлением в центре 1036 гПа смещается на восток со скоростью 20 узлов, за 12 ч усилился на 2 гПа.

К побережью Охотского моря с запада выходит молодой углубляющийся циклон с давлением в центре 1000 гПа. Смещается на восток, северо-восток со скоростью 30 узлов. За 12 ч давление в центре циклона понизилось на 2 гПа. Циклон является молодым барическим образованием, о чем свидетельствуют его углубление, большая скорость смещения, широкий теплый сектор. Можно

предполагать дальнейшее углубление циклона, в том числе за счет выхода на морскую поверхность. В передней части циклона наблюдается сильное падение давления до 5,2 гПа за 3 ч, в тылу за холодным фронтом – рост давления до 4,2 гПа за 3 ч.

В радиусе около 500 морских миль от центра циклона высока вероятность сильного ветра до 12–17 м/с, о чем свидетельствуют повышенные барические градиенты. Есть предупреждение GW – о сильном ветре. В передней части циклона наблюдаются туманы, есть предупреждение FOG[W]. Вблизи центра циклона и в зоне фронтов наблюдаются осадки. Температура воздуха от -5 до -10° С в холодной воздушной массе и в пределах +5...+9° С в теплом секторе циклона.

В области описываемого циклона лежит атмосферный фронт, разделяющий арктический континентальный (сухой и холодный) воздух (кАВ) и воздух умеренных широт (кУВ), тоже континентального происхождения с первыми признаками трансформации над морской поверхностью. В передней части циклона располагается теплый участок фронта, в тыловой – холодный. В теплом секторе (на южной периферии циклона) располагается кУВ, к северо-востоку, северу и северо-западу от циклона – кАВ. Контрасты температуры в зоне холодного фронта достигают 13–20°С на 600 км.

Волновой циклон медленно смещается южнее Японии. Давление в его центре – 1018 гПа, очерчен одной замкнутой изобарой. За 12 ч давление в его центре не изменилось. Теплый сектор циклона широкий. Его движение к востоку блокируется антициклоном. В передней части циклона повышенные барические градиенты за счет взаимодействия с антициклоном, есть предупреждение о сильном ветре – GW. Вблизи центра циклона и фронтах наблюдаются дожди, преимущественно ливневого характера. Фон температур около 11–17° С в умеренной воздушной массе (холодной для этого циклона) и 23–26° С в тропической воздушной массе (теплом секторе).

В области волнового циклона наблюдается стационарный фронт. Он разделяет теплую морскую тропическую воздушную массу (мТВ) и морскую воздушную массу умеренных широт (мУВ). Контрасты температуры в зоне фронта достигают 7–9° С на 600 км.

*Пример анализа погодных условий в начале маршрута в 00 ВСВ 23 ноября 2019 г.*

Координаты судна – 46° с. ш. 143° в. д.

Погодные условия определяются теплым сектором развивающегося циклона. Атмосферное давление – 1030 гПа, давление падает, барическая тенденция составляет -0,8 гПа за 3 ч.

Ветер юго-западный, южный 8–10 м/с.

Преобладают кучево-дождевые облака до 9 баллов. В прошедшей погоде – ливневой дождь кратковременного характера.

Волнение моря – 0,5–1,5 м (результат анализа волны – рис. 2). Температура воздуха 9° С.

Ближайшие 24 ч значительных изменений погодных условий не ожидается.

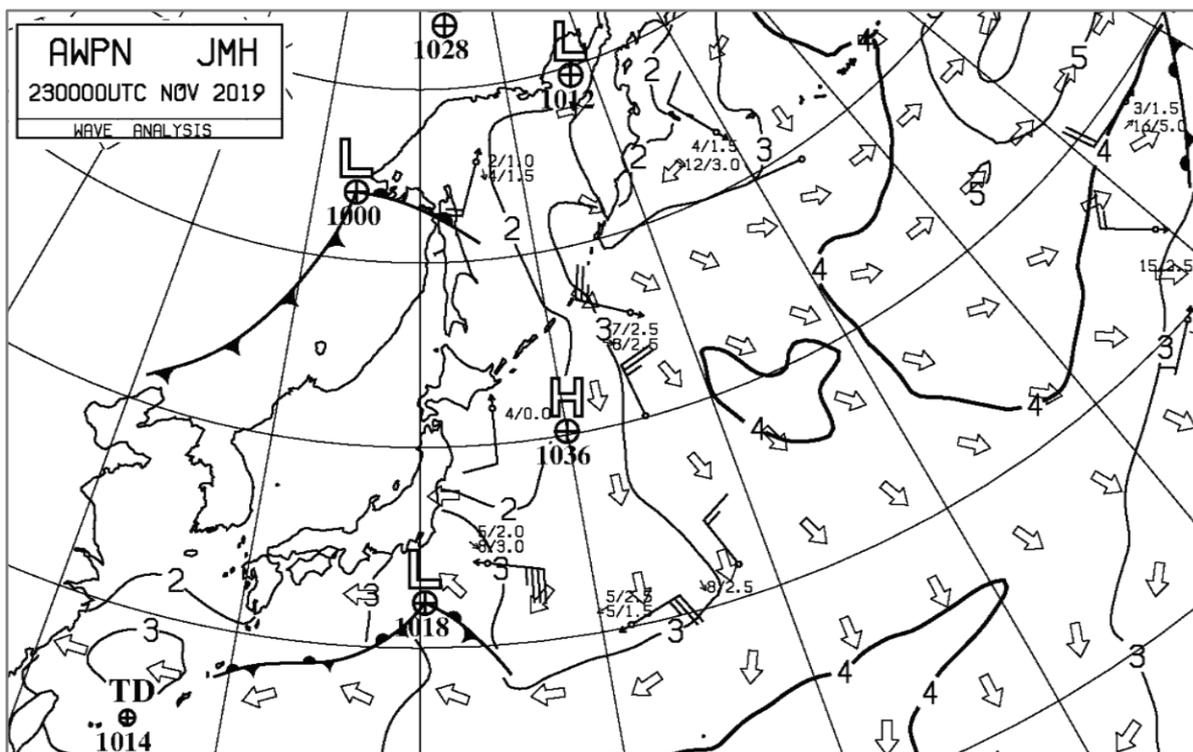


Рис. 2. Фрагмент карты анализа волны от Японского метеорологического агентства за 00 ВСВ 23.11.2019

Объем раздела – 2–3 стр.

### ***Часть 3. Прогноз синоптического положения и элементов погоды на трое суток по маршруту судна***

На судне прогноз погоды составляется вахтенным штурманом.

Для составления прогноза погоды кроме карт приземного анализа используют карты барической топографии и прогностические карты с заблаговременностью от 12 часов до 7 суток вперед. Они передаются как факсимильные сообщения. Прогностические карты с заблаговременностью до двух суток составляются на каждые 12 часов, для большей заблаговременности – через 24 часа. Обновляются карты дважды в сутки от сроков 00 и 12 ВСВ.

На прогностических синоптических картах стандартным образом представлено барическое поле (в виде изобар), обозначены центры циклонов и антициклонов. На картах малой заблаговременности часто указывается прогностическое положение фронтальных разделов (фронтов), направление и скорость ветра, количество осадков.

Зная будущее положение барических образований и фронтальных разделов, тенденцию их развития, и комплекс погодных условий, с ними связанный, можно предсказать погоду по любому району или маршруту.

*Пример прогноза синоптического положения и прогноза погоды на сутки вперед.* Для прогноза синоптической ситуации и последующего прогноза погоды в данном примере используются карта приземного анализа за срок 00 ВСВ 23 ноября 2019 г. (рис. 1) и прогностическая приземная карта от того же срока с заблаговременностью 24 ч, действительная на 00 ВСВ 24 ноября (представлена на рис. 3).

Погодные условия в районе работ ( $46^{\circ}$  с. ш.  $143^{\circ}$  в. д.) в течение суток с 00 ВСВ 23 ноября по 00 ВСВ 24 ноября на юго-западе Охотского моря, по-прежнему, будут определяться теплым сектором развивающегося циклона. За сутки циклон с Хабаровского края переместился на северную часть Охотского моря, углубился на 8 гПа. Начался процесс его окклюдирования, он перешел в стадию максимального развития, замедлил движение. Тип воздушной массы, следовательно, и погодных условий в районе работ не изменились. Погодные условия будут определяться теплой, устойчивой воздушной массой. Она сменится на холодную неустойчивую после прохождения холодного фронта через 4–6 ч после срока прогноза. Атмосферное давление в течение суток понизится примерно на 8 гПа, за счет углубления циклона и отхода антициклона на восток. Барический градиент в районе стоянки судна уменьшится от 10 до 8 гПа/300 миль.

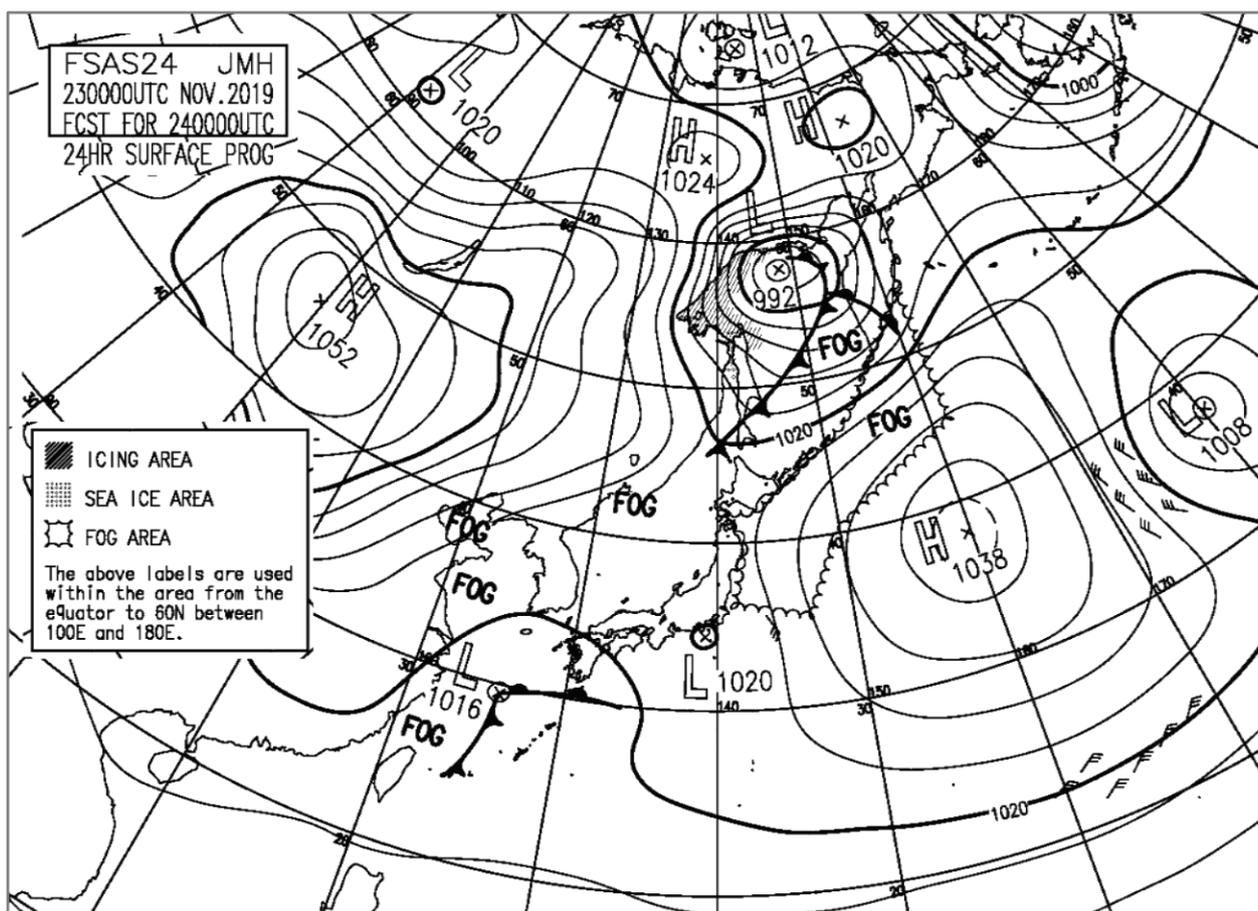


Рис. 3. Карты приземного прогноза с заблаговременностью 24 часа, составлена Японским метеорологическим агентством, действительна на 00 ВСВ 24 ноября 2019 г.

*Прогноз погоды от 00 ВСВ 23 ноября до 00 ВСВ 24 ноября 2019 г. в районе 46° с. ш., 145° в. д. (для судна, находящегося в дрейфе)*

Ветер юго-западный, южный 8–10 м/с.

Высота волн 0,5–1,5 м.

Атмосферное давление медленно падает от 1030 до 1020–1022 гПа.

Облачность 7–9 баллов, с преобладанием Sc. Осадки маловероятны. Видимость – 4–6 км.

Температура воздуха 8–10°С.

*Методические указания к прогнозу синоптического положения*

Погода в районе плавания судна зависит от его положения относительно барических образований, атмосферных фронтов и типа воздушных масс. Если судно не выходит из зоны одной воздушной массы, находится вдали от атмосферных фронтов, то каких-либо существенных изменений погоды ожидать не следует (могут наблюдаться изменения погоды за счет суточного хода и трансформации воздушной массы). В большинстве случаев изменение погоды наступает, когда к месту расположения судна приближается воздушная масса другого происхождения, с другими свойствами по отношению к прежней воздушной массе. Другими словами, изменение погоды происходит при приближении и прохождении атмосферных фронтов.



заблаговременности. Если расчет относительного положения судна производится при отсутствии прогностической карты, только по картам приземного анализа, то на рис. 4 точка  $K'_1$  указывает примерное положение (относительное) судна на момент начала действия прогноза, а точка  $K'_2$  – на момент конца действия прогноза. Если скорость  $V_C$  на карте анализа не указана, то она рассчитывается по положению циклона на двух последовательных картах анализа и интерполируется на срок прогноза.

В данной курсовой работе для составления прогноза погоды на первые сутки следует на карте анализа (соответствует дате выхода по маршруту) обозначить положение влияющего на погоду в месте работы судна циклона (или антициклона) через 12 и 24 часа (снять их положение с прогностических карт нужной заблаговременности). Вектор, обратный (равный по величине и обратный по направлению) вектору смещения барического объекта за 12 и 24 часа, – искомый вектор  $K_0K_1 K_2$ . Он откладывается от точки начала движения судна.

На следующие сутки расчет относительного движения строится на прогностической карте с заблаговременностью 24 ч относительно точки, в которой судно будет через сутки после выхода по заданному маршруту. Перемещение барического образования определяется по прогностическим картам с заблаговременностью 24 и 48 часов.

На третьи сутки используются прогностические карты с заблаговременностью 48 и 72 часа, а точка, относительно которой ведется расчет соответствует уже положению судна через 48 ч пути.

Вычисленный относительный курс судна позволяет определить конкретное местоположение судна относительно основных синоптических объектов. Эта операция носит название прогноз синоптического положения.

Затем определяют характер процессов, происходящих в барических образованиях, воздушных массах и атмосферных фронтах: углубление или заполнение циклонов и ложбин; разрушение или усиление антициклонов и гребней; размывание или обострение атмосферных фронтов; изменение барического градиента, температуры и влажности.

#### *Методические указания к прогнозу элементов погоды*

Морской прогноз погоды включает в себя:

- дату, срок начала и окончания действия прогноза, район или маршрут прогноза;
- направление (*румбы*) и скорость ветра (*м/с*);
- высоту ветровых волн, по возможности и волн зыби, с точностью до  $\pm 0,5$  м;
- явления, ухудшающие видимость: туман, дымка, осадки и др.;
- видимость (*км, м*);
- обледенение судов, если оно ожидается;
- температуру воздуха, в интервале  $3-5^\circ C$ ;
- ледовые условия, если лед есть или ожидается.

В курсовой работе дополнительно следует рассчитать изменение

атмосферного давления в течение срока действия прогноза и определить преобладающие формы и количество облаков.

В прогнозе погоды по возможности указываются изменения метеорологических величин и явлений, если таковые имеют место в течение срока действия прогноза: усиление, ослабление, понижение, повышение, улучшение, ухудшение и т.п., указывая конкретное значение и интенсивность этих величин и явлений, время, когда это произойдет.

Морской прогноз погоды начинается с прогноза направления и скорости ветра. Для этого в 2–3 точках вектора относительного движения судна рассчитывают направление и скорость ветра. Эти расчеты являются основой для принятия решения о прогностическом направлении и скорости ветра

Направление ветра определяется по положению изобар на картах погоды с учетом отклонения вектора ветра на угол  $15^\circ$  в сторону низкого давления (рис. 5), таким образом, чтобы область низкого давления оставалась слева, а высокого давления – справа по отношению к движению (справедливо для северного полушария). Направление ветра определяется в румбах, в прогнозах можно указывать два румба, если предполагается незначительный поворот ветра в течение срока прогноза. На рисунке 5 ветер юго-западный.

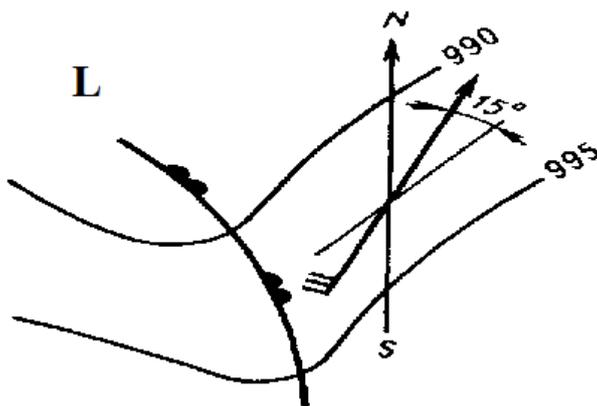


Рис. 5. Расчет направления ветра

Если в прогнозе указывается: ветер юго-западный, то это означает, что в течение срока действия прогноза ожидается направление ветра от SSW до WSW.

Скорость ветра указывается в м/с в диапазоне 3–5 м/с.

Скорость ветра может быть вычислена из геострофического соотношения.

Равномерное горизонтальное движение воздуха при отсутствии трения называют градиентным ветром. Возможны два случая такого движения: прямолинейное и круговое. Первое называется геострофическим, второе – геоциклострофическим ветром («гео» – земля, «циклос» – круг, «строфэ» – вращение).

Таким образом, геострофический ветер представляет собой *установившееся (равномерное) горизонтальное прямолинейное движение воздуха при отсутствии трения*, возможное лишь в области прямолинейных изобар. Скорость геострофического ветра  $V_2$  определяется формулой:

$$v_z = \frac{1}{\rho 2\omega \sin \varphi} \left( -\frac{\partial p}{\partial n} \right), \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха,  $\omega$  – угловая скорость вращения земли,  $\varphi$  – географическая широта места,  $-\partial p/\partial n$  – горизонтальный барический градиент.

Из формулы следует, что скорость геострофического ветра прямо пропорциональна градиенту давления (производной от давления или перепаду давления на концах единичного отрезка) или обратно пропорциональна расстоянию между соседними изобарами.

Можно получить более простое выражение для расчета геострофического ветра, если принять  $\omega=0,000073 \text{ рад/сек}$ , плотность воздуха для стандартной атмосферы  $\rho=1,293 \text{ кг/м}^3$ , барический градиент  $\Gamma_p$  здесь выражен  $\text{гПа/град. меридиана}$ :

$$v_z = \frac{4,8}{\sin \varphi} \Gamma_p \quad (2)$$

Для  $\sin \varphi = 0,8$ , соответствующего  $\varphi = 53^\circ$ , получим  $v_z = 6\Gamma_p \text{ м/с}$ .

Это выражение дает возможность приближенно, но быстро определить скорость геострофического ветра по изобарам приземной карты при нахождении судна в умеренных широтах.

Реальный ветер будет меньше вычисленного геострофического примерно на треть. Для вычисления действительного ветра вблизи поверхности моря скорость геострофического ветра умножают на коэффициент, учитывающий стратификацию приземного слоя атмосферы. Для холодной части года (при неизвестной разности температур между водной поверхностью и нижним слоем атмосферы) коэффициент принимается равным 0,6, а для теплой половины года – 0,8.

Еще один способ определения скорости ветра. Распространенная рабочая формула для определения скорости ветра вблизи морской поверхности:

$$v = K_\varphi \frac{\Delta p}{\Delta n} + K_f \quad (3)$$

где  $K_\varphi$  – коэффициент, зависящий от широты

|             |            |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                       |            |
|-------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| $K_\varphi$ | 2,0        | 1,9–1,6               | 1,5–1,4               | 1,3                   | 1,2                   | 1,1                   | 1,0                   | 0,9                   | 0,8                   | 0,7        |
| $\varphi$   | $20^\circ$ | $20\text{--}25^\circ$ | $26\text{--}28^\circ$ | $29\text{--}30^\circ$ | $31\text{--}35^\circ$ | $36\text{--}38^\circ$ | $39\text{--}43^\circ$ | $44\text{--}51^\circ$ | $52\text{--}62^\circ$ | $62^\circ$ |

$\frac{\Delta p}{\Delta n}$  – градиент давления, определяемый как перепад давления на концах

единичного отрезка, взятого по нормали к изобарам. Для вышеприведенной формулы единичный отрезок равен 300 миль ( $5^\circ$  меридиана).

$K_f$  – фронтальный коэффициент, который равняется 4 м/с в зоне холодного фронта и в тылу циклона с давлением в центре 990 гПа и менее, 2 м/с – перед теплым фронтом и фронтом окклюзии, в остальных случаях он равняется нулю.

На рисунке 6 приведен пример расчета скорости ветра по приземной карте анализа, составленной Японским метеорологическим агентством. В точке

расчета  $A$  проведена нормаль к изобарам, точка помещена в середину отрезка, равного  $5^\circ$  меридиана. Перепад давления на концах отрезка составляет  $11 \text{ гПа}$  (изобары на карте проведены через  $4 \text{ гПа}$ ).  $11 \text{ гПа}/300 \text{ миль}$  – это величина барического градиента, входящая в расчетную формулу. Широте местности  $45^\circ$  с. ш. соответствует коэффициент  $0,9$ .  $K_f$  в тыловой части циклона за счет адвекции холода и неустойчивой стратификации атмосферы равен  $4 \text{ м/с}$ . В итоге, скорость ветра составляет  $14 \text{ м/с}$ , направление ветра северо-западное.

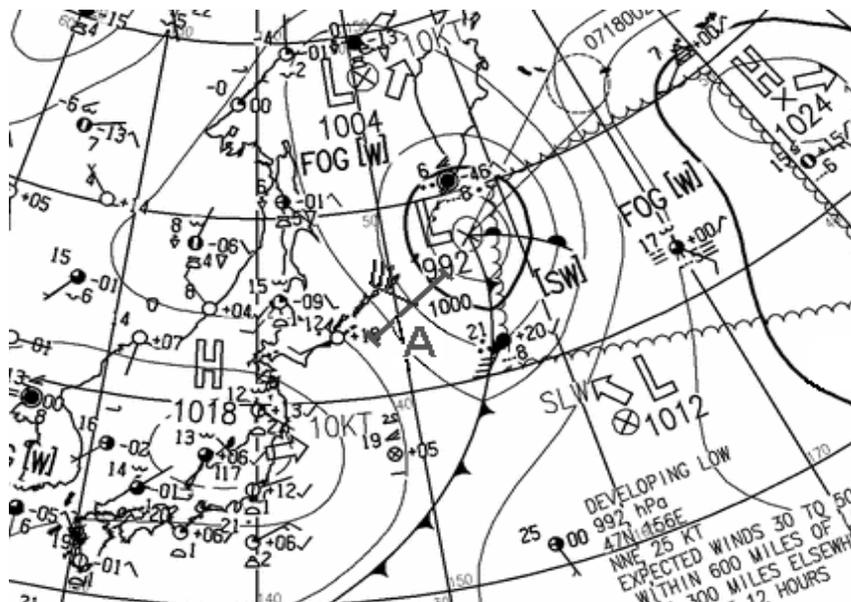


Рис. 6. Определение скорости ветра на карте погоды

При расчете скорости ветра необходимо учитывать следующее:

- реальный ветер может быть больше расчетного, если ожидается углубление циклона, в зоне которого находится судно;
- в момент прохождения фронтов ветер усиливается, а в зоне быстро движущегося холодного фронта он может носить шквалистый характер;
- в тыловой части циклона наблюдаются частые усиления ветра в момент выпадения осадков по типу зарядов;
- при большом контрасте температур воздуха ветер всегда сильнее расчетного;
- ветер нередко искажается на границе раздела суши и моря.

Прогноз волнения. При определении параметров волнения моря чаще всего учитывают главный из них – высоту волны. При наличии прогностической карты волнения определяют на карте местоположение судна на момент действия прогноза, где и снимаются значения высоты волн и другие параметры волнения. Снятое с карты значение – прогноз высоты волн  $3\%$ -й обеспеченности ( $m$ ) на момент действия прогноза. Генеральное направление волнения соответствует направлению, указанному в виде стрелок в ближайших точках.

При отсутствии прогностической карты волнения на нужный срок прогноз волнения составляют на основании прогноза ветра, так как между высотой волн

и скоростью ветра существует хорошо выраженная зависимость. Высота волн зависит от продолжительности действия ветра, его силы, устойчивости по направлению и от пути, проходимого ветром над водной поверхностью (разгона).

При самостоятельном прогнозе степени волнения по 9-балльной шкале руководствуются следующими указаниями. При ветре от 5 до 8 баллов, сохранении его направления больше 12 ч и разгоне больше 300 миль степень волнения в баллах обычно соответствует баллу ветра. При силе ветра до 5 баллов балл волнения уменьшается на 2 единицы относительно балла ветра. При разгоне менее 300 миль балл волнения меньше балла ветра на 2–3 единицы. Если в течение срока действия прогноза ожидается резкое ослабление ветра, то необходимо предусмотреть образование зыби. Появление зыби возможно также из других районов океана, где наблюдаются сильные продолжительные ветры. Такая техника прогноза волнения позволяет определить волнение моря примерно 5%-ой обеспеченности.

При достаточно большом разгоне ветра (сотни миль) и большой длительности его работы (десятки часов) волнение моря определяется только скоростью ветра. В таблице 2 представлено соответствие между скоростью ветра, разгоном и продолжительностью действия ветра для достижения максимально возможной для данной скорости ветра высоты волн. Такое волнение называется развитым, параметры развитого волнения при неизменных направлении и скорости ветра также не изменяются.

Таблица 2

**Соответствие между скоростью ветра, временем его действия и разгоном волн, необходимых для формирования развитого волнения**

|                         |    |     |     |     |      |      |
|-------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|
| Скорость ветра, м/с     | 5  | 10  | 15  | 20  | 25   | 30   |
| Разгон, мили            | 50 | 200 | 450 | 800 | 1300 | 1800 |
| Время действия ветра, ч | 10 | 20  | 30  | 40  | 45   | 50   |

В случае полностью развитого волнения среднюю высоту волн ( $h$ ) можно определять по данным таблицы 3 в зависимости от скорости синоптического ветра ( $V$ ).

Скорость синоптического ветра следует получить путем усреднения трех-четырех значений скорости ветра над районом прогноза. Направление общего потока воздуха, так называемого «синоптического ветра», в однородном поле изобар осуществляется под углом 10–15° к изобарам в сторону понижения давления, оставляя низкое давление в северном полушарии слева, а в южном – справа.

Таблица 3

### Средняя высота волн в зависимости от скорости ветра

| V, м/с | 5   | 7   | 10  | 12  | 15  | 17  | 20  | 22  | 25  | 27   | 30   |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| h, м   | 0,4 | 0,7 | 1,4 | 2,0 | 3,1 | 4,0 | 5,6 | 6,8 | 8,7 | 10,0 | 12,0 |

Для перехода от средней высоты к высотам определенной обеспеченности вычислены коэффициенты. Чтобы получить высоту волн обеспеченностью 3% (средняя высота трех самых высоких волн из 100 наблюдаемых) следует среднюю высоту умножить на коэффициент 2,39 ( $h_{3\%} = 2,39h$ ); для волн обеспеченности 5% – коэффициент 1,9; для волн обеспеченности 13% – коэффициент 1,67.

Следует помнить, что высота волн в морских прогнозах прогнозируется в метрах с точностью до 0,5 м в диапазоне 1 м, например, высота волн 1,5–2,5 м.

Прогноз облачности и осадков основывается на характере, типе и эволюции фронтов, проходящих в районе плавания, либо типе и свойствах воздушной массы, в области которых располагается судно.

Наличие сплошной облачности (10 баллов) следует ожидать, если в районе плавания наблюдаются следующие синоптические условия: хорошо выраженный теплый фронт, который обостряется; фронт окклюзии, особенно по типу теплового; теплый сектор циклона, когда центр циклона располагается близко к району прогноза; продолжительное падение давления.

Значительная облачность (более 5–9 баллов) прогнозируется, если в районе нахождения судна наблюдаются: размывающиеся фронты; холодный фронт; нулевые барические тенденции; старый циклон.

Умеренная облачность (3–7 баллов) вероятна тогда, когда в районе отсутствуют фронтальные разделы, но атмосфера характеризуется неустойчивой стратификацией, о чем свидетельствуют кучевообразные облака, осадки ливневого характера, грозы. Умеренная облачность может наблюдаться в восточных и западных секторах антициклонов, прилегающих к тыловой и передней частям циклона, соответственно.

Небольшую облачность и ясную погоду следует ожидать в случаях плавания в зоне антициклона, близко от его центра и при прохождении оси барических гребней, а также при плавании в тылу циклона за холодным фронтом при условии устойчивой стратификации в области холодной воздушной массы.

Характер и интенсивность ожидаемых осадков должны полностью соответствовать прогнозируемой облачности (см. таблицу 4), быть согласованы с наблюдаемыми на картах анализа явлениями и видом синоптических объектов в районе плавания.

Таблица 4

**Виды осадков, выпадающих из различных форм облаков, и характер их проявления (извлечение из Атласа облаков, 1978)**

| Формы облаков         | Жидкие осадки                 |   | Твердые осадки                                      |   |
|-----------------------|-------------------------------|---|---|---|
|                       | Вид                           | Характер проявления   | Вид   | Характер проявления   |
| Перисто-слоистые (Cs) | -                             | -   | Слабый снег, ледяные иглы, мелкие ледяные кристаллы | Возможны при очень низких температурах воздуха, при сильных морозах (преимущественно в арктических районах) |
| Высоко-слоистые (As)  | Дождь                         | Небольшой интенсивности, непрерывный или с перерывами. В средних и южных широтах дождь из As не достигает поверхности моря вследствие испарения     | Снег  | Небольшой интенсивности, непрерывный или с перерывами   |
| Высоко-кучевые (Ac)   | Дождь                         | Кратковременный или в виде отдельных капель; могут наблюдаться полосы падения   | Снег  | В виде отдельных снежинок; могут наблюдаться полосы падения, не достигающие поверхности моря                |
| Слоисто-дождевые (Ns) | Обложной дождь, ледяной дождь | Непрерывный или с перерывами; продолжительный или кратковременный; очень редко в виде ледяного дождя  | Обложной снег                                       | Непрерывный или с перерывами; продолжительный или кратковременный   |
| Слоистые (St)         | Морось                        | Может быть отдельно или вместе с дождем; в последнем случае морось выпадает из St, а дождь из вышерасположенных Ns                                  | Мелкий снег, мелкие снежные зерна                   | Очень мелкий снег, очень мелкие снежные зерна, сильно ухудшающие видимость                                  |
| Туманы                | Морось                        | Очень мелкие капли, практически невидимые глазом  | -   | -   |
| Слоисто-кучевые (Sc)  | Дождь                         | Кратковременный, как правило, из плотных Sc   | Редкий снег   | Выпадает из плотных Sc (иногда из Sc просвечивающих) непродолжительный                                      |
| Кучевые (Cu)          | Дождь                         | Редко, иногда в виде отдельных капель или очень кратковременный, иногда за время выпадения дождя облако рассеивается, создавая впечатление дождя из | -   | -   |

| Формы облаков        | Жидкие осадки                                 |  | Твердые осадки  |  |
|----------------------|---|--|---|--|
|                      | Вид   | Характер проявления  | Вид   | Характер проявления  |
|                      |   | «чистого» неба   |   |  |
| Кучево-дождевые (Cb) | Ливневой дождь, град, ливневой дождь с градом | Как правило, крупнокапельный, разной интенсивности, иногда в виде стены дождя. Над морем часто наблюдается вдали от судна в виде полос падения, достигающих поверхности моря, часто вместе с грозой. | Ливневой снег, снежные зерна. Ливневой снег с дождем (мокрый снег). Ледяная, снежная крупа. | Переменной интенсивности, иногда в виде «мощных» снежных зарядов |

Дальность видимости прогнозируется в зависимости от типа воздушной массы, облачности, атмосферных осадков и явлений. Наблюдения показывают, что в арктическом воздухе дальность видимости при отсутствии осадков обычно больше 10 миль, в полярном – от 5 до 10 миль, в тропическом воздухе – 3–5 миль. Дальность видимости прямо зависит от количества водяного пара, содержащегося в воздухе.

Ухудшение видимости в зоне дождя и низкой облачности зависит от плотности облаков и интенсивности осадков. При интенсивности дождя 2, 6 и 10 мм/ч дальность видимости соответственно будет 8, 4 и 2–3 км. При слабом или умеренном снеге видимость ухудшается до 2–5 км; при сильном снеге видимость ухудшается до 500–1000 м.

При тумане видимость составляет 500–1000 м, при сильном тумане следует прогнозировать 200–500 м и менее (точных методов прогноза горизонтальной дальности видимости не существует). При наличии дымки прогнозируют 2–4 км.

Дальность видимости в прогнозе указывается только при ухудшении видимости, т.е. при прогнозировании атмосферных явлений, приводящих к ее ухудшению.

Прогноз обледенения судов. Под обледенением судов понимается образование льда на верхних конструкциях судна: корпусе, палубах, надстройках, рангоуте и такелаже. Причиной обледенения, чаще всего, являются брызги морской воды, образующиеся при ударе волн о корпус судна, а также заливание судна при накате морской воды на палубы судна. Иногда наблюдается и пресноводное обледенение из-за тумана или выпадения переохлажденного дождя или мокрого снега.

Основными гидрометеорологическими параметрами, обуславливающими обледенение судна, являются: температура воздуха, поскольку температура верхних устройств судна определяется и практически равна ей; температура воды (слишком высокая температура воды не дает возможности быстро образоваться льду и вода стекает); скорость ветра, так как ветер определяет

волнение на море, забрасывает брызги воды на судно.

При возникновении обледенения необходимо следовать курсом «под ветер», при этом обледенение будет меньше, чем при курсе на ветер.

На дальневосточных морях 98 % умеренных и сильных обледенений наблюдается при ветрах северных направлений. Более 50 % всех обледенений – обледенения муссонного типа, т.е. при ветрах с берега. Муссонные обледенения самые продолжительные по времени действия.

Наиболее вероятным по синоптическим условиям местом возникновения обледенения максимальной интенсивности является тыл циклона.

Местные признаки приближения обледенения: заход ветра к северным направлениям, усиление ветра до 5 баллов и более, рост давления после падения, понижение температуры до  $-5^{\circ}\text{C}$  и ниже.

Для определения возможности обледенения судов используется индекс обледенения ( $PPR \text{ м}\times^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ) в зависимости от скорости ветра ( $V_a \text{ м/с}$ ), температуры воздуха ( $T_a \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), температуры воды  $T_w \text{ } (^{\circ}\text{C})$  и температуры замерзания воды  $T_f$ . Для морской воды эта температура равна  $-1,7^{\circ}\text{C}$  или  $-1,8^{\circ}\text{C}$ . Алгоритм нахождения индекса обледенения  $PPR$  разработан в 1986 году (Overland et al., 1986) и уточнен в 1990 году:

$$PPR = \frac{V_a(T_f - T_a)}{1 + 0,3(T_w - T_f)} \quad (4)$$

В таблице 5 представлена интенсивность ожидаемого обледенения ( $\text{см/ч}$ ) для судов длиной 20–75 м в зависимости от величины индекса  $PPR$ .

Таблица 5

**Ожидаемое обледенение ( $\text{см/ч}$ ) для судов длиной 20–75 м**

| PPR                                    | <0  | 0–22,4 | 22,4–53,3 | 53,3–83,0 | >83,0            |
|--|-----|--------|-----------|-----------|------------------|
| Класс обледенения                      | нет | слабое | умеренное | сильное   | катастрофическое |
| Скорость обледенения ( $\text{см/ч}$ ) | 0   | <0,7   | 0,7–2,0   | 2,0–4,0   | >4,0             |

#### Часть 4. Расчет ветроволновых потерь скорости судна

В данной курсовой работе следует рассчитывать ветроволновые потери для каждых суток отдельно, учитывая прогностические значения направления и скорости ветра и характеристики волнения моря, спрогнозированные в разделе 3. Для расчетов использовать следующие теоретические и эмпирические заключения.

Вследствие совокупного воздействия ветра и волнения скорость судна снижается за счет увеличения сопротивления движению, изменения режима работы двигателя и ухудшения управляемости.

Суммарные ветроволновые потери скорости судна в общем виде определяются следующим образом:

$$\Delta V_c = \Delta V_{uhB} = \Delta V_u + \Delta V_h + \Delta V_B \quad (5)$$

Изменение скорости ветра при неизменных высоте и курсовом угле волнения приводит к потерям скорости судна, определяемым логарифмической зависимостью  $\Delta V_u = a \lg w - b$ , где  $w$  – скорость ветра, м/с.

При постоянных курсовых углах ветра и волнения ветроволновые потери определяются степенной функцией от высоты волны  $\Delta V_h = ch^d$ , где  $h$  – высота волны, м.

В зависимости от относительной длины волны  $\lambda/L$  ( $\lambda$  – длина волны,  $L$  – кажущаяся длина волны при данном курсовом угле) при различных курсовых углах волнения максимум ветроволновых потерь скорости смещается на различные значения относительной длины волны. Для курсовых углов 0, 45 и 90° максимальные значения ветроволновых потерь наблюдаются при  $\lambda/L$ , равных 1,05; 0,8; 1,0, соответственно.

Значения потерь скорости судна при одних и тех же соотношениях  $\lambda/L$  уменьшаются с увеличением курсового угла волны. Так, для относительной длины волны, равной единице, потери скорости составляют 58, 15 и 6% для курсовых углов 0°, 90° и 135°, соответственно.

Для определения численных значений ветроволновых потерь скорости хода наиболее широкое применение нашел метод «универсальной» формулы. Метод позволяет определить суммарные ветроволновые потери скорости с учетом водоизмещения судна, а также высоты и курсового угла волнения.

Для судов, имеющих скорость на тихой воде от 9 до 20 уз и водоизмещение от 3 до 25 тыс. т, скорость судна на волнении определяется по формуле:

$$V_{wh} = V_0 - (0,745h - 0,257hq_h)(1 - 1,35 \times 10^{-6} D_B V_0), \quad (6)$$

где  $V_{wh}$  – скорость судна при ветре и волнении, узлы;

$V_0$  – скорость на тихой воде, узлы;

$h$  – высота волн 3 %-ой обеспеченности, м;

$q_h$  – курсовой угол судна относительно направления распространения волн, рад;

$D_B$  – весовое (массовое) водоизмещение, т.

Этим способом рассчитывают только совместные ветроволновые потери скорости. При этом полагают, что при определенной скорости ветра наблюдается соответствующая высота волн, и направление волнения совпадает с направлением ветра (принимают, что волнение установившееся). В действительности в море часто наблюдаются волны зыби, которые не соответствуют скорости и направлению действующего ветра. Тогда приходится решать задачу о ветроволновых потерях на смешанном волнении. Для таких сложных условий расчет по методу «универсальной» формулы дает значительные погрешности.

Средняя квадратическая погрешность вычислений по формуле (6) составляет  $\pm 0,5$  уз, что соответствует погрешностям измерений с помощью лага и визуальных измерений высоты волн с борта судна. Для облегчения вычислений значения выражений, входящих в формулу (6), представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6

**Значения выражения  $(0,745h-0,275hq_h)$  формулы (6)**

| q <sub>h</sub> | h(м) |      |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
|                | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
| 0              | 0,7  | 1,5  | 2,3  | 3,0  | 3,7  | 4,5  |
| 45             | 0,5  | 1,1  | 1,6  | 2,2  | 2,7  | 3,3  |
| 90             | 0,3  | 1,7  | 1,0  | 1,4  | 1,7  | 2,0  |
| 135            | 0,1  | 0,3  | 0,4  | 0,6  | 0,7  | 0,8  |
| 180            | -0,1 | -0,1 | -0,2 | -0,2 | -0,3 | -0,4 |

Таблица 7

**Значения выражения  $(1-1,35 \times 10^{-6} D_B V_0)$  формулы (6)**

| D <sub>B</sub><br>тыс.т | V <sub>0</sub> (узлы) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 9                     | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   |
| 3                       | 0,97                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5                       | 0,94                  | 0,93 | 0,92 | 0,92 | 0,91 | 0,90 | 0,90 | 0,88 | 0,88 | 0,88 |
| 7                       | 0,91                  | 0,90 | 0,89 | 0,88 | 0,88 | 0,87 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,83 |
| 9                       | 0,89                  | 0,88 | 0,86 | 0,85 | 0,84 | 0,83 | 0,82 | 0,80 | 0,79 | 0,78 |

Кроме совокупного воздействия ветра и волнения, скорость судна снижается за счет действия морских течений. Суммарное течение является суммой постоянного, периодического (приливного) и временного (дрейфового) течений.

При воздействии на судно только течения его истинная скорость относительно дна определяется следующим образом:

$$V = V_0 \sqrt{1 + \frac{2V_T}{V_0} \cos q_T + \left(\frac{V_T}{V_0}\right)^2}, \quad (7)$$

где  $V_0$  – скорость судна по лагу на тихой воде, узлы;

$V_T$  – скорость течения, узлы;

$q_T$  – курсовой угол течения, град.

Под курсовым углом течения понимается угол между диаметральной плоскостью судна и направлением течения.

При воздействии на судно ветра и волнения и с учетом течения его лаговая скорость  $V_0$  изменится на величину суммарных ветроволновых потерь  $\Delta V_{wh}$ , тогда истинная скорость судна равна:

$$V = (V_0 - \Delta V_{wh}) \sqrt{1 + \frac{2V_T}{V_0 - \Delta V_{wh}} \cos q_T + \left(\frac{V_T}{V_0 - \Delta V_{wh}}\right)^2}. \quad (8)$$

В данной курсовой работе расчет истинной скорости судна можно провести без учета постоянного и периодического (приливного) течений.

Прогноз ветровых течений. Наиболее простыми из методов расчёта и прогноза непериодических течений являются эмпирические зависимости между скоростями течения и ветра, введенных Экманом:

$$V_T = \frac{KW}{\sqrt{\sin \varphi_0}}, \quad (9)$$

где  $V_T$  – скорость поверхностного дрейфового течения, м/с;  $W$  – скорость ветра, м/с;  $\varphi$  – географическая широта;  $K$  – ветровой коэффициент (отношение скорости течения к скорости ветра, зависящее от направления береговой черты и глубины моря).

Для глубокого моря величина ветрового коэффициента Экманом принята 0,0127. Направление поверхностного течения в глубоком море отклоняется на  $45^\circ$  вправо в северном полушарии и влево – в южном, относительно направления ветра, при условии, что наблюдатель стоит спиной к ветру.

Формула Экмана используется для расчета ветровых течений для случая глубоких морей умеренных широт. Она не применима для расчета в низких широтах.

Общие закономерности влияния ветра и волнения на скорость судна следующие:

- потери скорости возрастают с увеличением высоты волн;
- ветровое волнение в большей степени влияет на потерю скорости, чем зыбь (при волнах такой же высоты);
- наибольшего значения потеря скорости достигает на встречном волнении;
- скорость увеличивается только на умеренном попутном волнении (до 4 баллов), при усилении волнения судно теряет скорость и на попутном волнении;
- суда в балласте и загруженные не полностью теряют скорость быстрее, чем суда полностью загруженные;
- суда с высокооборотными двигателями и крупнотоннажные имеют

меньшие относительные потери скорости, чем суда с малооборотными двигателями и малотоннажные.

На судне полезно иметь заранее составленную таблицу или график потерь скорости на волнении разной силы при различных курсовых углах и осадках.

Особенности поведения судна на волнении, касающиеся его управляемости, необходимо учитывать при решении вопросов о выборе курса в штормовых условиях.

*Пример расчета ветроволновых потерь скорости судна и потерь за счет поверхностных течений*

Начало движения 23.11.2019 00 ВСВ

Характеристики волнения и ветра определяют по картам анализа за 23.11.2019 г 00 ВСВ (карта приземного анализа и анализа волны) и прогноза на 24 ч в районе работ судна.

Принимаем, что скорость судна на тихой воде равна 13 узлам;

весовое водоизмещение судна – 5000 т;

главные размерения судна: L = 80 м, В=14 м, d=5,5 м;

начальная точка маршрута 46° с. ш. 145° в. д.;

время начала маршрута – 23 ноября 2019 г. 00 ВСВ;

курс судна – 250 градусов;

продолжительность работ – 24 ч.

По прогнозу ветер южный, юго-западный (200°) 8–10 м/с. Высота волн 0,5–1,5 м. Курсовой угол волнения – 50° левого борта.

Расчет скорости судна при данных параметрах ветра и волнения следующий:

$$V_{wh} = V_0 - (0,745h - 0,257hq_h)(1 - 1,35 \times 10^{-6} D_B V_0) = 13 - (0,745 \times 1 - 0,257 \times 1 \times 0,87) \times (1 - 1,35 \times 10^{-6} \times 5000 \times 13) = 13 - 0,58 \times 0,91 = 12,5 \text{ (узла)}.$$

Расчет дрейфового течения:

$$V_T = \frac{KW}{\sqrt{\sin \varphi_0}} = 0,0127 \times 10 / 0,72 = 0,18 \text{ (узла)}.$$

Направление течения получаем, поворачивая его на 45 градусов вправо от направления ветра – 200+45=245°. С учетом того, что за направление течения принимают направление куда оно направлено (в отличие от направления ветра и волн), то получаем направление течения равное 65°.

Курсовой угол течения равен 175 градусам (рис. 7).

Скорость судна с учетом потерь за счет воздействия ветра, волн и поверхностного ветрового течения:

$$V = (V_0 - \Delta V_{wh}) \sqrt{1 + \frac{2V_T}{V_0 - \Delta V_{wh}} \cos q_T + \left( \frac{V_T}{V_0 - \Delta V_{wh}} \right)^2} =$$

$$=(13-0,5) \times \sqrt{1 + \frac{2 \times 0,18}{13-0,5} \cos 175^\circ + \left(\frac{0,18}{13-0,5}\right)^2} = 12,3 \text{ (узла)}.$$

Таким образом, средняя скорость судна в течение 1-х суток – 12,3 узла, а пройденное расстояние – 295,2 мили.

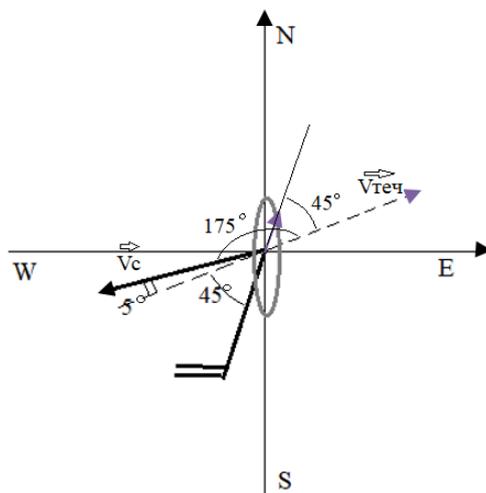


Рис. 7. Определение курсовых углов волнения и дрейфового течения

### ***Заключение***

Приводятся краткие результаты работы и выводы.

Объем раздела – 1 стр.

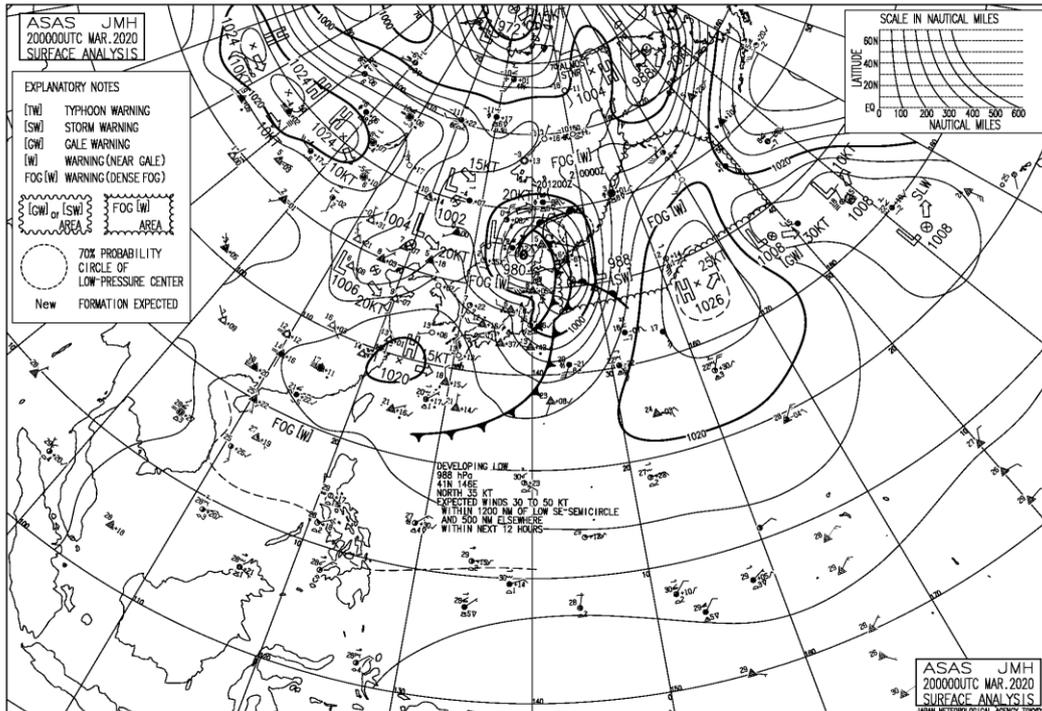
### ***Список использованных источников***

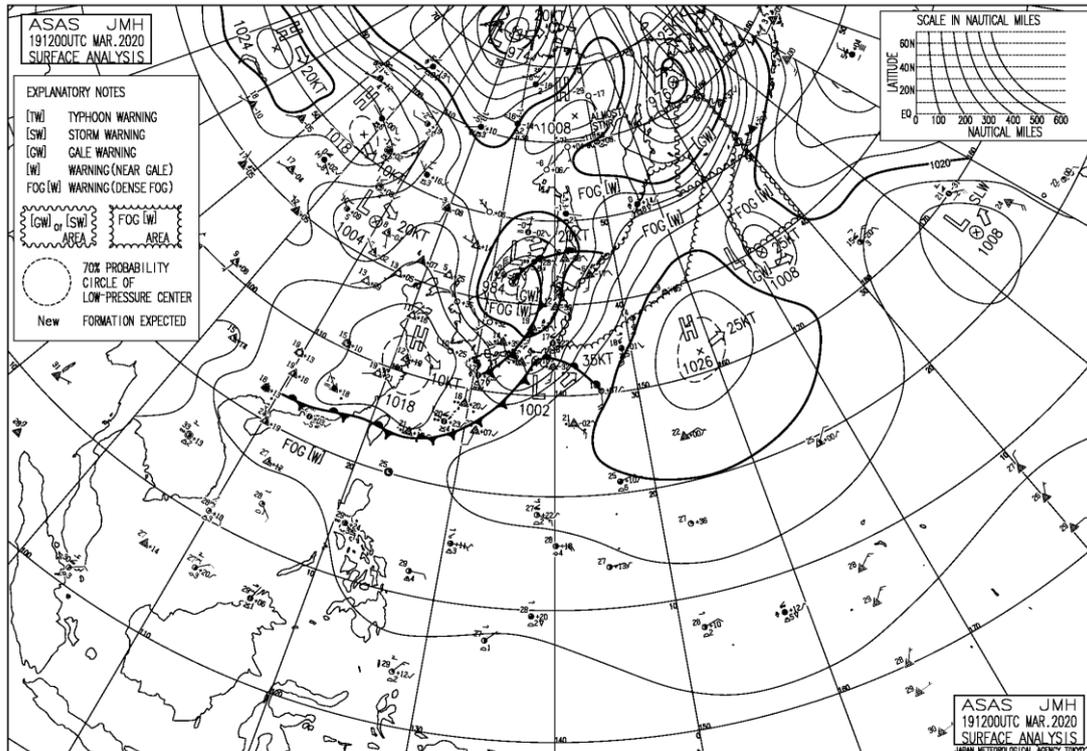
Приводится список литературы из 10–15 наименований. Литература оформляется в соответствии с ГОСТ 7.0.5-2008 (см. оформление рекомендуемой литературы в данной методичке).

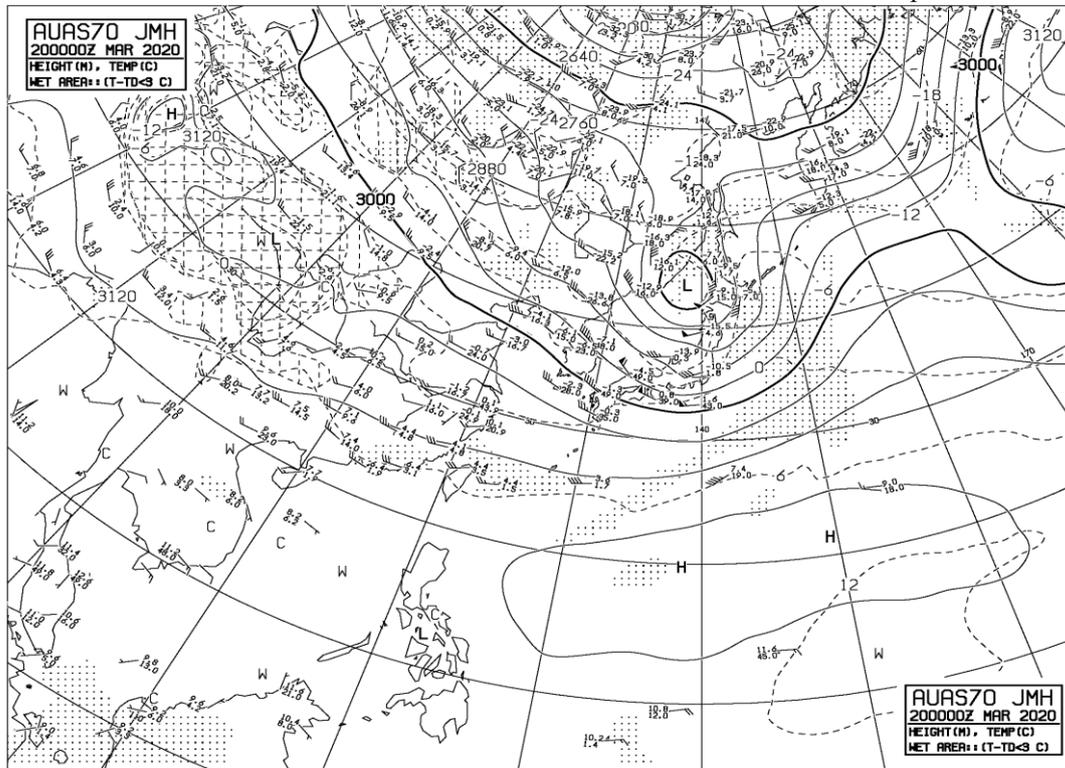
Объем раздела – 2–3 стр.

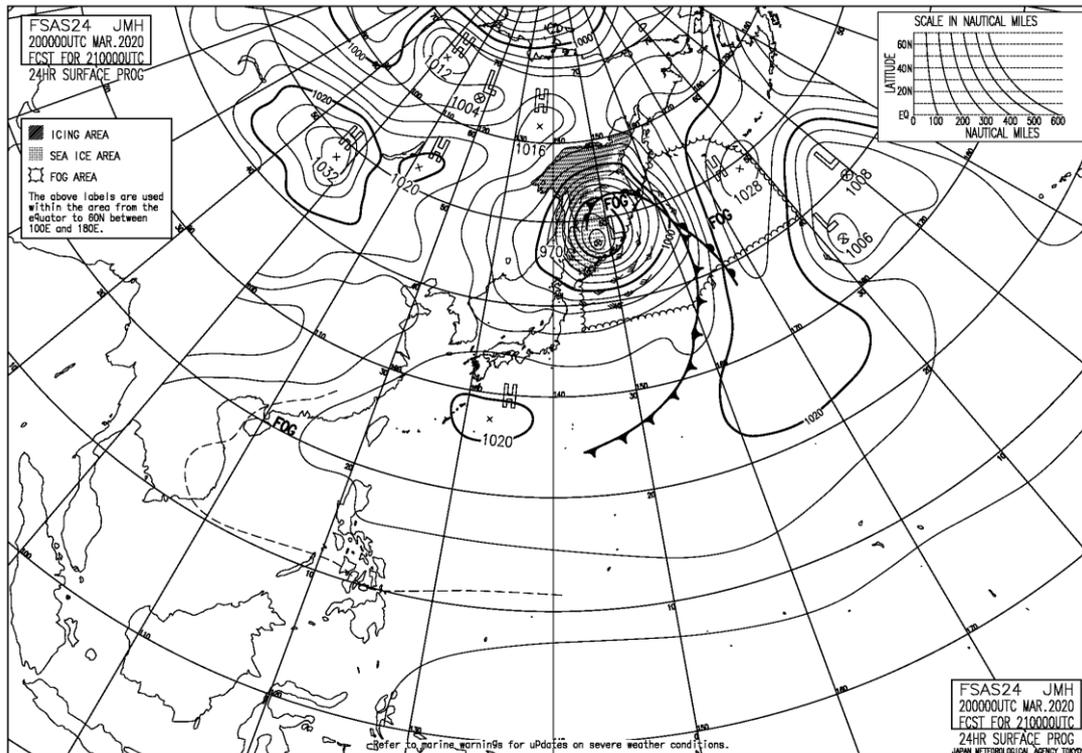
Общий объем курсовой работы – 20–30 стр.

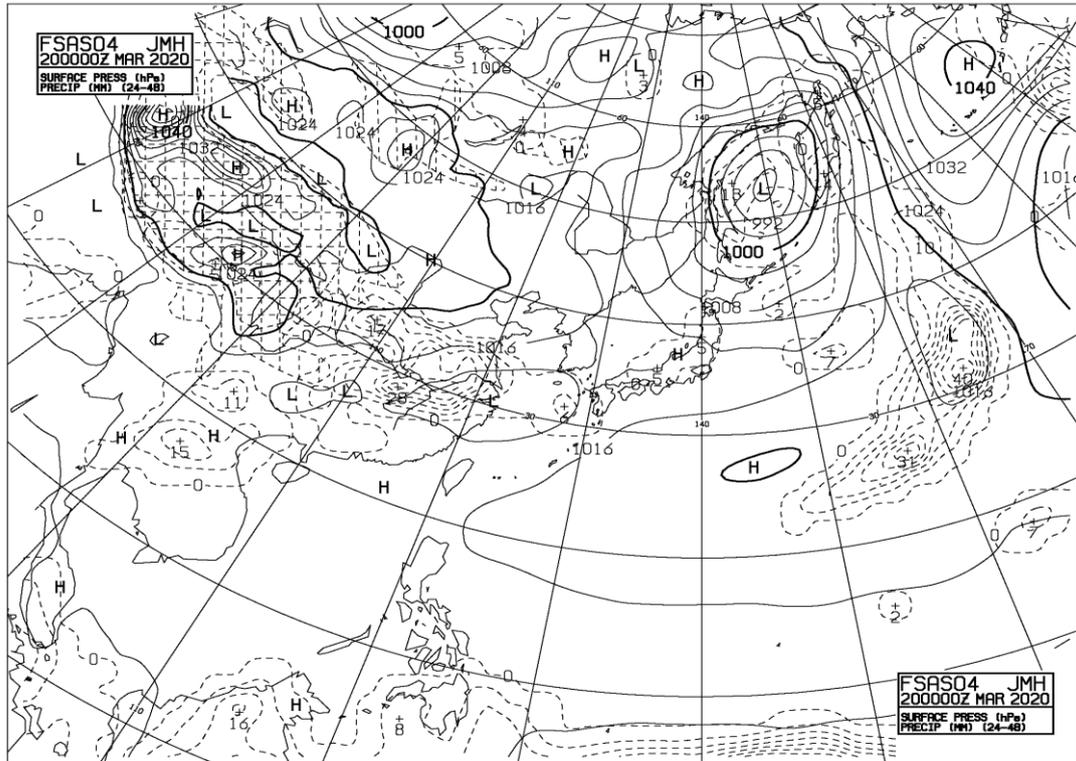
Набор гидрометеорологических карт для выполнения курсовой работы

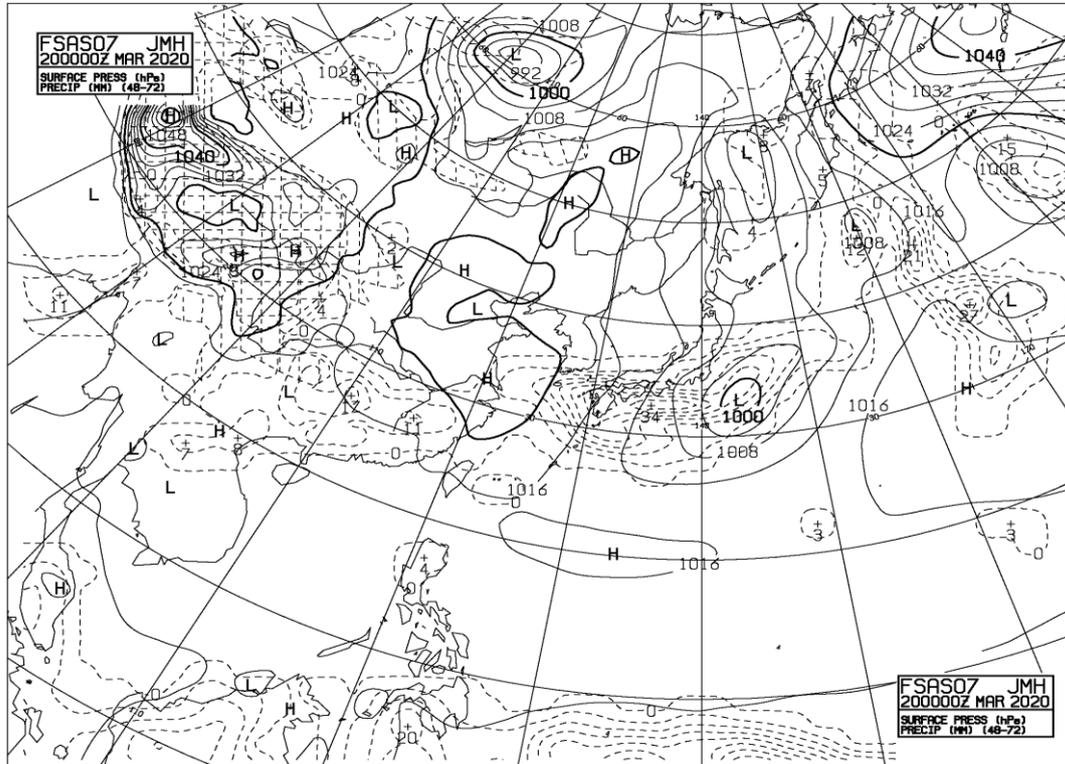


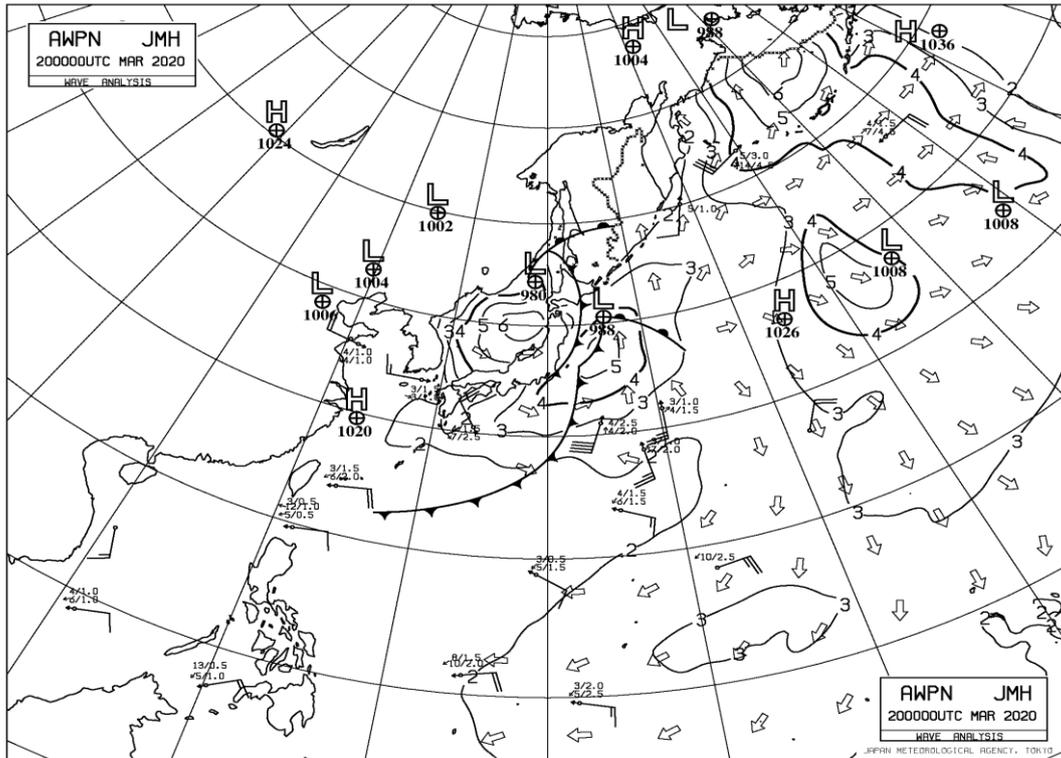


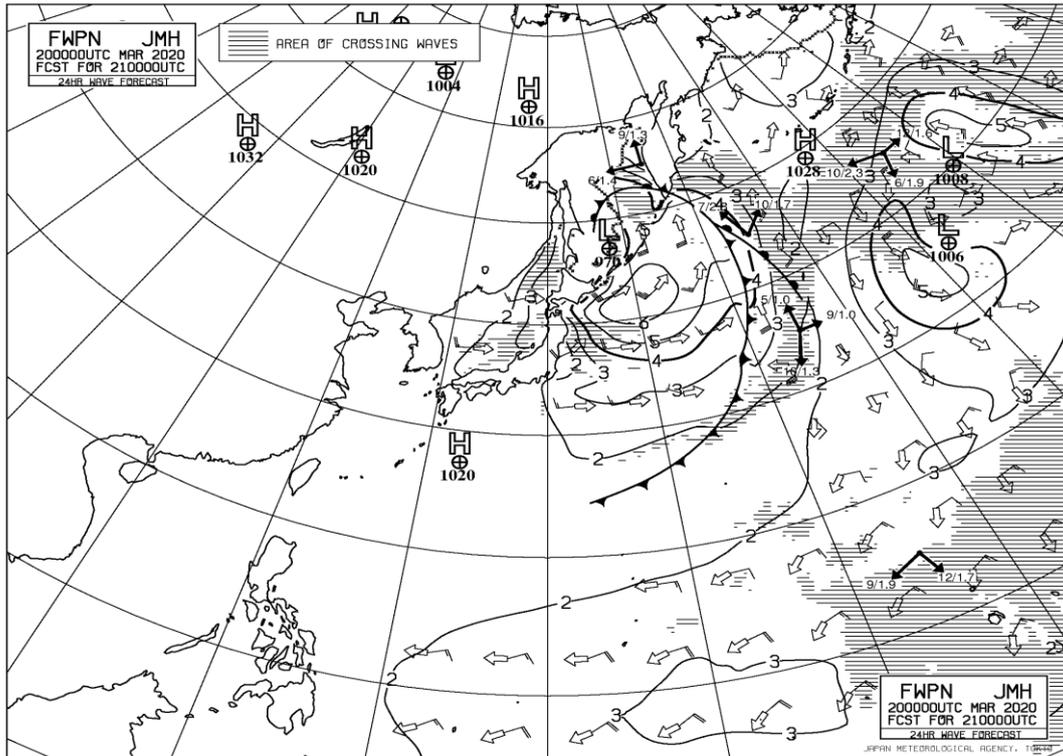


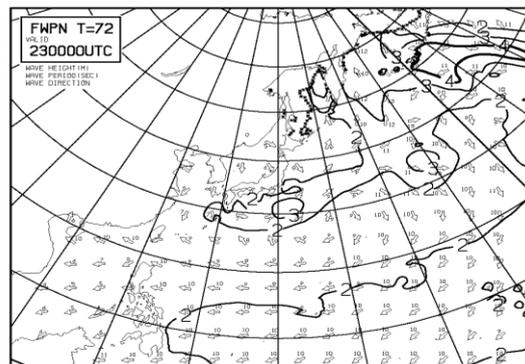
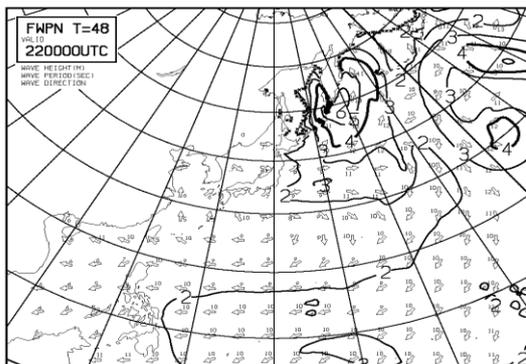
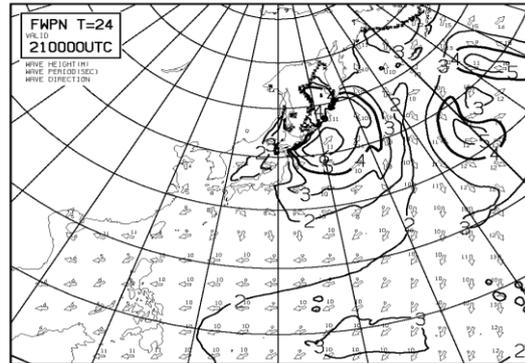
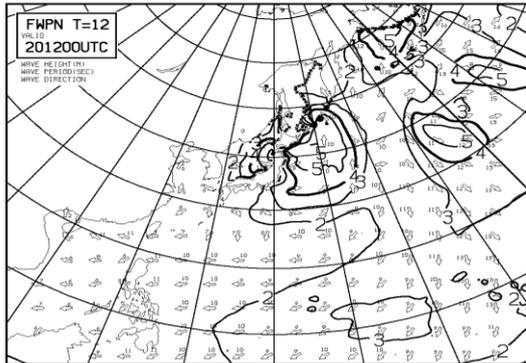












FWPN07 200000UTC MAR 2020

JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, TOKYO

