



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

Кафедра метеорологических прогнозов

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему: «Обледенение морских судов в Баренцевом море»

Исполнитель Соловьева Юлия Андреевна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Лаврова Ирина Викторовна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

  
(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна  
(фамилия, имя, отчество)

« 9 » июня 2023 г.

Санкт-Петербург  
2023

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                | 3  |
| 1. Характеристика обледенения морских судов .....                                                             | 5  |
| 1.1. Виды обледенения .....                                                                                   | 6  |
| 1.2. Интенсивность обледенения судов и степень его опасности.....                                             | 9  |
| 2. Прогноз обледенения морских судов.....                                                                     | 13 |
| 2.1. Синоптические условия обледенения морских судов.....                                                     | 13 |
| 2.2. Метод Оверлэнда .....                                                                                    | 15 |
| 3. Описание района исследования и исходных данных .....                                                       | 18 |
| 3.1. Физико-географическая характеристика Баренцева моря.....                                                 | 18 |
| 3.2. Климат исследуемого района .....                                                                         | 19 |
| 3.3. Данные, используемые в исследовании.....                                                                 | 21 |
| 4. Анализ влияния синоптической обстановки в районе Баренцева моря на<br>обледенение морских судов .....      | 22 |
| 4.1. Типы синоптических ситуаций, оказывающих влияние на<br>интенсивность обледенения в Баренцевом море ..... | 22 |
| 4.2. Особые случаи синоптических ситуаций, выделенные в работе....                                            | 43 |
| 4.2.1. Минимальное давление в центре циклона .....                                                            | 43 |
| 4.2.2. Максимальное давление в центре антициклона .....                                                       | 49 |
| 4.2.3. Наибольшая продолжительность интенсивного обледенения в<br>Баренцевом море .....                       | 55 |
| 4.2.4. Наименьшая продолжительность обледенения .....                                                         | 57 |
| 4.3. Графическое представление результатов работы.....                                                        | 61 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                              | 65 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....                                                                        | 67 |

## ВВЕДЕНИЕ

Обледенение морских судов известно давно, однако причины его возникновения и интенсивности нарастания льда в различных условиях для настоящего времени недостаточно изучены. Это объясняется трудностями экспериментального и теоретического характера. Исследование обледенения судов в морских условиях опасно, а также очень сложно. В добавок материальные затраты для таких исследований большие. Специальные наблюдения за обледенением морских судов начались недавно.

В нашей стране и за рубежом большое внимание уделяется изучению гидрометеорологических условий обледенения судов и физики этого процесса. Активно ведутся поиски новых способов борьбы с обледенением, которые включают модификацию конструкции судна для уменьшения обледенения, а также нахождение разных методов, которые могут замедлить процесс нарастания льда или обеспечить его своевременный сброс в море [2].

Актуальность работы состоит в изучении процесса обледенения с синоптической точки зрения. Имея дополнительно синоптическую информацию при прогнозировании обледенения, можно предотвратить опрокидывание большого количества морских судов в Баренцевом море.

Целью данной работы является исследование синоптических ситуаций, при которых наблюдается интенсивное обледенение морских судов в Баренцевом море.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Выполнить типизацию и анализ синоптических ситуаций для случаев с интенсивным и продолжительным обледенением морских судов в районе Баренцева моря.
2. Рассмотреть выделенные типы на отдельных примерах.

3. Проанализировать интенсивность циклонов по градациям давления в центре.

4. Проанализировать продолжительность сильного обледенения на рассматриваемой территории.

В качестве исследуемого района было принято решение выбрать акваторию Баренцева моря, поскольку обледенение морских судов является очень опасным гидрометеорологическим явлением, которое многократно приводило к авариям, гибели судов и человеческим жертвам в важном экономическом районе.

Выпускная квалификационная работа состоит из четырех глав.

В первой главе представлена общая характеристика обледенения морских судов. Рассматриваются виды и интенсивность обледенения, а также их степень опасности.

Во второй главе данной работы описываются синоптические условия обледенения морских судов, а также рассматривается прогноз обледенения методом Оверлэнда.

В третьей главе рассматривается информация о физико-географической характеристике и климате исследуемого района, а также представлены данные, используемые в работе.

В четвертой главе рассматриваются примеры обледенения морских судов в Баренцевом море по выделенным типам синоптических ситуаций и приводится графический анализ результатов работы.

В заключении описаны выводы по проведенной исследовательской работе.

Для написания работы использовались различные литературные источники, справочные материалы, методические указания и интернет ресурсы.

## 1. Характеристика обледенения морских судов

Использование судов в Арктике несет множество рисков, так как суровые климатические условия, присущие этому региону, увеличивают вероятность возникновения опасных ситуаций для судоходства.

Обледенением называется накопление льда на судах, морских сооружениях и прибрежных объектах, в результате наезда и замерзания жидкости в виде брызг, тумана, мороси и дождя или льда в виде снега или мокрого снега [5].

Основной причиной обледенения является сильный ветер, который вызывает сильное забрызгивание морского судна водой при волнении, и отрицательная температура воздуха, имеющая значение значительно ниже значения температуры воды [4]. Чем ниже температура воздуха и воды и сильнее ветер (волнение), тем вероятнее обледенение судна. В действительности сочетание низких температур воздуха и сильных ветров сравнительно редкое явление.

В результате обледенения увеличивается вес судна, снижается высота надводного борта и повышается центр тяжести, вследствие чего уменьшается остойчивость и ухудшается маневренность судна, а работа людей на палубе, покрытой льдом, становится опасной. При интенсивном обледенении судно может вовсе потерять остойчивость и опрокинуться.

Практически все типы судов подвергаются опасности обледенения в разной степени, вне зависимости от их размеров и конструкции. Однако для малых судов обледенение представляет наибольшую угрозу, так как они часто подвергаются сильному забрызгиванию и заливанию забортной водой в штормовую погоду, что приводит к их интенсивному обледенению [2].

Суда низкобортные с большой осадкой обледеневают значительно быстрее, чем суда высокобортные с относительно малой осадкой. Суда с

большой поперечной остойчивостью, имеющие порывистую качку (например, ледоколы), обмерзают медленнее, чем суда с малой остойчивостью, поскольку порывистая качка способствует быстрому удалению с палубы попавшей на нее воды [6].

Обледенение, как и любое явление погоды, имеет свои пространственные и временные масштабы, неразрывно связанные с особенностями развития атмосферного процесса над районом. Неравномерно рассеянные по акватории моря и случайные по времени попутные судовые наблюдения не дают достаточной информации о пространственных масштабах обледенения и его продолжительности. Поэтому пространственные границы, начало и конец явления устанавливаются субъективными способами приблизительно [4].

Необходимость ограничения районов плавания определенным категориям судов, сокращение сроков навигации и затруднение в планировании различных промысловых работ в море – все это связано с опасностями, которые возникают в результате обледенения [2].

В основном, существующие способы борьбы с обледенениями судов предполагают применение мер, направленных на уменьшение забрызгивания судна путем маневрирования или выходе из зоны обледенения, а в критических ситуациях возможно удаление льда с надводных поверхностей судна. Для своевременных и эффективных действий судоводителям необходимо знать и учитывать факторы, являющиеся причиной обледенения [9].

### 1.1. Виды обледенения

В настоящее время различают несколько видов обледенения:

1) Обледенение в потоке морских брызг, возникающих при ударе волн о корпус судна (брызговое обледенение). Образующийся при этом лед

отличается значительной прочностью и плотностью, а сила его сцепления с обмерзаемой поверхностью выше, чем при обледенении, вызванном другими причинами.

2) Обледенение вследствие заливания палубы судна забортной водой. При этом на некоторых участках палубы судна образуется «ледяная каша», которая часто смывается, а оставшаяся масса периодически разбавляется сравнительно теплой забортной водой.

3) Обледенение в атмосферных осадках: переохлажденном дожде, мороси или мокром снеге, в переохлажденном тумане (атмосферное обледенение). Интенсивность такого обледенения, как правило, мала, но лед обладает большой прочностью и значительным сцеплением с обледеневающей поверхностью.

4) Смешанное обледенение, которое образуется при совместном действии морских брызг, заливания забортной водой, атмосферных осадков [1].

По статистике основной причиной обледенения являются брызги морской воды (около 90% случаев). При одновременном действии брызг, тумана, дождя или мороси обледенение наблюдается реже (6% случаев). На долю случаев обледенения, вызванного туманом, дождем или моросью, приходится 3%, а обледенения от совместного действия брызг и снега - 1% [2]. Таким образом, наиболее распространенным и опасным видом морского обледенения является брызговое обледенение.

На степень брызгового обледенения влияют отрицательные температуры воздуха, ветер, волнение моря и температура воды. Брызговое обледенение возможно при наличии всех перечисленных факторов. Скорость или интенсивность брызгового обледенения зависит от типа судна, его загрузки, направления и скорости ветра, развития ветрового волнения, а также от совершаемого маневра и других технических характеристик, относящихся

к судну [3]. Этот вид обледенения является основным при диагнозе и прогнозе обледенения судов.

Обработка наблюдений показала, что брызговое обледенение начинается при температуре воздуха близкой к температуре замерзания воды данной солености. Так, по наблюдениям в Баренцевом море с соленостью 30-34‰ обледенение начинается при температуре воздуха от  $-1,6$  до  $2,2^{\circ}\text{C}$ . Нижними пределами скорости ветра и волнения, при которых еще наблюдается забрызгивание судна, являются скорость 5 м/с, волнение 2 балла [2]. Предельная высота обледенения конструкций судна зависит от скорости ветра и высоты волн и редко превышает 20 м [1].

Скорость нарастания льда в толщину при этом виде обледенения может достигать 35-40 мм/час, особенно при встречном ветре. Причем лед, интенсивно образовываясь на наветренной стороне судна, может вызвать появление значительного крена [6].

Чем сильнее ветер и больше высота волн, тем выше летят брызги морской воды, а, следовательно, обледенение будет распространяться выше. Естественно, что толщина образующегося льда будет уменьшаться с высотой [2].

Если судно попадает в условия встречного забрызгивания, лед может скапливаться в носовой части, это может привести к образованию дифферента на нос, что заставит судно зарыться в волну и еще больше обледенеть. Кроме того, ветер с курсовых углов, близких к  $90^{\circ}$ , вызывает забрызгивание подветренного борта и надстроек, что приводит к появлению опасного статического крена на один из бортов [9].

При обледенении в переохлажденных осадках, а также в тумане или в зоне парения моря образуется пресный лед [2]. Образование этого льда начинается сверху и распространяется вниз по морскому судну. Лед



образуется на мачтах, ноках реев, такелаже, антеннах и т.д. Этот лед очень скользкий, прилипчивый и хрупкий [6].

Обледенение, которое возникает от парения моря у самой поверхности воды, происходит на нижней части корпуса судна и приводит к потере осадки [9].

При смешанном обледенении, которое образуется в результате сочетания забрызгивания, заливания борта морской водой и атмосферных осадков, скорость нарастания льда на судне увеличивается [2].

## 1.2. Интенсивность обледенения судов и степень его опасности

Под интенсивностью обледенения судна понимается скорость нарастания льда на всех конструкциях судна в целом. Она измеряется в тоннах в час (т/час).

Опасность, которая грозит обледеневшему судну, зависит не только от скорости нарастания, но и от общего количества льда. Если судно находится на протяжении длительного времени в зоне гидрометеорологических условий, которые способствуют обледенению, и на борту нет эффективных средств борьбы с обледенением, то количество образовавшегося льда может превысить критический уровень и привести к потере остойчивости и опрокидыванию судна. Поэтому судоводитель в условиях обледенения должен уметь количественно оценить степень обледенения судна, чтобы вовремя предпринять соответствующие меры.

Интенсивность обледенения зависит как от гидрометеорологических условий, так и от типа судна, высоты и формы его бортов, наличия такелажа, дополнительных грузов на палубе, режима движения. Оценка интенсивности обледенения судов в различных условиях является одним из необходимых этапов при прогнозе обледенения судов [2].

К природным факторам относятся: скорость ветра, температура воды, температура замерзания воды, направление ветра, температура воздуха, зыбь и характеристика волн (высота волны, длина волны, направление распространения волны).

Обледенение судна может начаться, когда присутствуют следующие факторы окружающей среды:

- Сильный ветер более 18 узлов или 9 м/с, но иногда и меньше;
- Низкая температура воздуха - ниже замерзания  $-1,7^{\circ}\text{C}$ ;
- Низкая температура воды - обычно ниже  $7^{\circ}\text{C}$ .

Многолетние исследования показали, что при низких температурах воздуха, вплоть до  $-26^{\circ}\text{C}$  и ветре до 55 м/с, вероятность и интенсивность обледенения увеличивается тем быстрее, чем ближе к максимальным значениям эти параметры.

Кроме вышеперечисленных факторов, влияющих на образование льда, необходимо учесть соленость морской воды. При одних и тех же сочетаниях температуры воздуха и поверхностного слоя воды соленость влияет на изменение температуры кристаллизации. Установлено, что чем выше соленость забортной воды, тем интенсивнее льдообразование на поверхностях судна.

Факторы, относящиеся к судну: скорость судна, курс судна относительно ветра, волнения и зыби, длина судна, свободный борт, управление судном, сохранение холода судном.

Практический опыт судоводителей позволяет определить интенсивность обледенения судна с точностью до 1-1,5 т визуальным способом. Поскольку визуальные наблюдения не являются способом измерений, то для оценки степени обледенения используются различные классификации, например, по средней толщине льда на разных ровных поверхностях корпуса судна, на полубаке, стенках рубок и надстроек и т.п.:

1) Медленное или слабое обледенение происходит при скорости нарастания льда на судне менее 1,5 т/час, или менее 1 см/час, при:

а) при температуре воздуха от 0 до  $-3^{\circ}\text{C}$  и любой скорости ветра;

б) при температуре воздуха  $-3^{\circ}\text{C}$  и ниже и скорости ветра менее 7 м/с.

Данная скорость образования льда может привести к критическому состоянию остойчивости судна не раньше, чем через 24 часа после начала обледенения.

2) Быстрое или умеренное обледенение - скорость нарастания льда на судне 1,5-4 т/час, или 1-4 см/час. Происходит при температуре воздуха от  $-3$  до  $-8^{\circ}\text{C}$  и скорости ветра 7-15 м/с. Возможное наступление критической остойчивости произойдет не ранее чем через 16 часов. За этот период времени можно спасти судно, если экипаж судна будет скалывать лед и начнет выходить из зоны обледенения.

3) Очень быстрое или сильное обледенение - скорость нарастания льда на судне более 4 т/час, или более 4 см/час.

а) при температуре воздуха  $-3^{\circ}\text{C}$  и ниже и скорости ветра более 15 м/с;

б) при температуре воздуха  $-8^{\circ}\text{C}$  и ниже и скорости ветра 7-15 м/с.

Критическое состояние остойчивости судна может наступить в период до 16 часов.

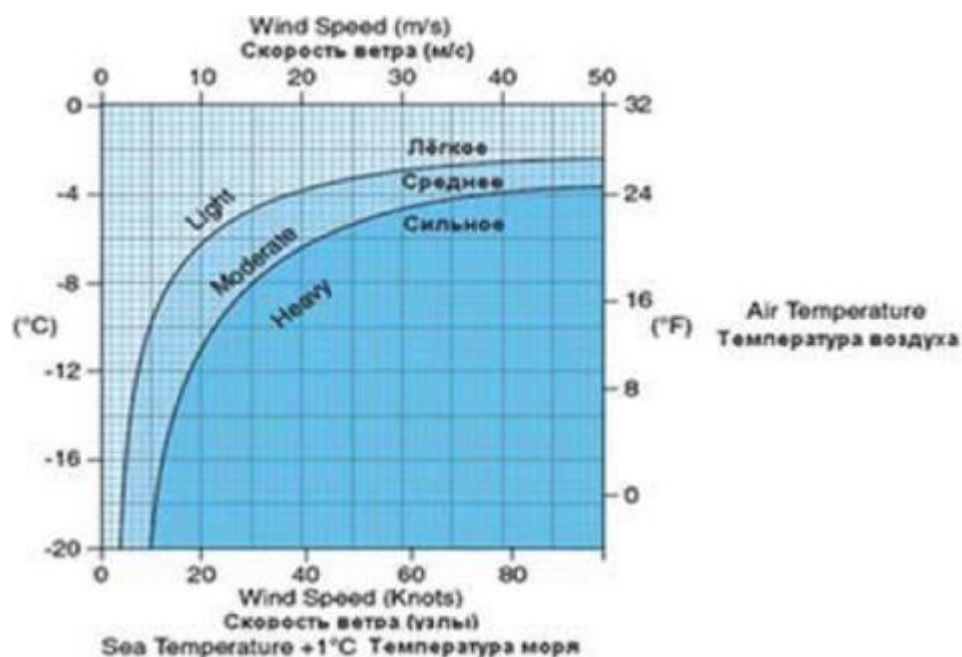


Рисунок 1. Номограмма интенсивности обледенения морского судна

Следует отметить, что верхний предел для нарастания льда на судне отсутствует. Его количество может увеличиваться до любой величины, пока не изменятся гидрометеорологические условия. Минимальная интенсивность обледенения обычно наблюдается при атмосферном обледенении, которая при температурах воздуха от  $-15$  до  $-25^{\circ}\text{C}$  и скоростях ветра до  $22$  м/с не превышает  $0,1$  г/час на  $1\text{ см}^2$  площади судовых поверхностей [9].

Таким образом, измерения или прогнозы температуры воздуха и скорости ветра помогают приблизительно оценить интенсивность обледенения и степень его опасности для судов по приведенным грациям гидрометеорологических комплексов [2].

## 2. Прогноз обледенения морских судов

С каждым годом районы плавания судов расширяются, сроки пребывания в море увеличиваются, что говорит о важности прогноза обледенения судов.

Расчет ожидаемого положения полей обледенения судов предусматривает два этапа. На первом этапе осуществляется прогноз и расчет основных гидрометеорологических параметров, обуславливающих обледенение: скорости ветра, температуры воздуха, температуры и солености воды, высоты волн. На втором — производится расчет ожидаемой интенсивности обледенения и построение прогностической карты обледенения.

Задачи первого этапа сейчас решаются в оперативных органах Гидрометслужбы синоптическими методами с использованием численных схем прогноза. Спутниковые данные о границах распространения льда, температуре морской поверхности, а также данные наблюдений с судов оказывают значительную помощь для уточнения прогнозов погоды.

Прогноз обледенения, таким образом, можно получить с такой же заблаговременностью, как и прогноз полей метеоэлементов [2].

Методы расчета, которые используются на практике в нашей стране и за рубежом, отличаются [1].

### 2.1. Синоптические условия обледенения морских судов

В районах северных и умеренных широт северного полушария обычно происходит обледенение морских судов в период осени, зимы и весны, когда в промысловые районы и районы активного судоходства вторгаются холодные воздушные массы.

По результатам исследований Г.В. Васильевой, приведенные в таблице 1, дают представление о том, при каких определенных синоптических процессах создаются наиболее благоприятные условия для обледенения судов.

| Море                       | Тыл циклона, % | Передняя часть циклона, % | Прочие условия, % | Число случаев |
|----------------------------|----------------|---------------------------|-------------------|---------------|
| Берингово                  | 57             | 32                        | 11                | 442           |
| Охотское                   | 70             | 23                        | 7                 | 312           |
| Японское, Татарский пролив | 93             | 3                         | 4                 | 140           |
| Запад Тихого океана        | 75             | 19                        | 6                 | 182           |
| Баренцево, Норвежское      | 40             | 50                        | 10                | 596           |
| Балтийское                 | 4              | 66                        | 30                | 44            |
| Черное, Азовское           | 79             | 16                        | 5                 | 18            |

Таблица 1. Синоптические условия обледенения судов в 1967-1970 гг.

Как видно из таблицы, по своей значимости на первом месте стоит тыловая часть циклона, на долю которой приходится в среднем более 50% случаев обледенения. В большинстве случаев это были довольно развитые, глубокие циклоны с давлением в центре 990 гПа и ниже.

Одним из главных факторов, определяющих обледенение судов, является адвекция холодного воздуха в тылу циклона при достаточно сильных ветрах, преимущественно северо-западного направления.

Зона обледенения в тылу циклона обычно начинается не сразу за холодным фронтом, а на некотором удалении от него. Объясняется это тем, что, во-первых, непосредственно за холодным фронтом температура холодной воздушной массы чаще всего еще не достигает тех низких значений, которые требуются для обледенения. Во-вторых, в той части акватории, где проходит холодный фронт, вследствие изменения направления и скорости ветра

происходит ослабление волнения. В случаях глубоких окклюдированных циклонов обледенение можно встретить при соответствующих значениях скорости ветра и температуры воды и воздуха вблизи центра циклона.

На втором месте по частоте повторяемости стоят случаи обледенения в зонах теплых фронтов или соответствующих фронтов окклюзии. Эти случаи наиболее типичны для района Баренцева и Норвежского морей, причем особо важную роль здесь играет предфронтальное усиление ветра. При ориентации фронта в широтном направлении обледенение происходит при ветрах восточной четверти, т. е. дующих со стороны центральных районов Арктики; а при меридиональной ориентации фронта – при ветрах южной четверти, дующих со стороны выхолаженного континента Европы.

К третьему типу синоптических процессов, определяющих условия обледенения, относится передняя часть мощного антициклона, вдоль которой осуществляется адвекция очень холодного арктического воздуха [2].

## 2.2. Метод Оверлэнда

Для прогноза брызгового обледенения за рубежом широко используется метод Д. Оверлэнда. Он был разработан еще в середине 1980-х гг. Этот метод позволяет дополнительно учесть температуру воды и температуру замерзания морской воды в отличие от отечественного метода, основанного на учете двух факторов, приводящих к обледенению – температуры воздуха и скорости ветра. Метод предназначен для прогноза обледенения судов длиной от 20 до 75 м, которые движутся с нормальной скоростью в открытом море и не по направлению ветра [3]. Поэтому, строго говоря, применим к судам таких размеров. На первом этапе выполняется расчет величины так называемого показателя (предиктора) обледенения  $PPR$ , как функции от скорости ветра  $V$ , температуры воздуха  $T_a$ , температуры воды  $T_w$ , и температуры замерзания воды  $T_f$ :

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

Температура измеряется в градусах Цельсия, скорость ветра – в м/с.

Температура замерзания на поверхности воды  $T_f$  зависит только от солености воды  $S$  и определяется по эмпирической формуле:

$$T_f = -0,0575S + 0,001710523S^{\frac{3}{2}} - 0,0002154996S^2 \quad (2)$$

После определения величины показателя обледенения  $PPR$  в соответствии с таблицей 2 оценивается интенсивность и скорость обледенения [7][8].

|                                     |     |        |           |         |
|-------------------------------------|-----|--------|-----------|---------|
| PPR (м · °C/с)                      | <0  | 0-22,4 | 22,4-53,3 | >53,3   |
| Обледенение                         | Нет | Легкое | Умеренное | Сильное |
| Скорость роста толщины льда, см/час | 0   | <0,7   | 0,7-2,0   | >2,0    |

Таблица 2. Интенсивность и скорость обледенения в зависимости от показателя обледенения

В графическом виде диаграмма критериев обледенения, которая получена на основе выражения (1) при температуре воды 0°C и температуре замерзания –1,7°C представлена на рисунке 2.



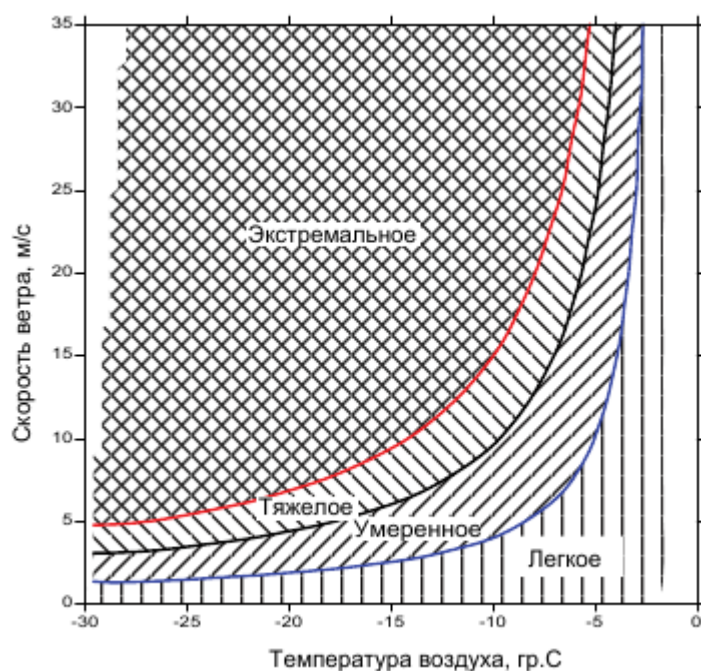


Рисунок 2. Критерии обледенения при температуре воды  $0^{\circ}\text{C}$  и температуре замерзания  $-1^{\circ}\text{C}$

На практике в нашей стране обледенение оценивается по его интенсивности, измеряемой в тоннах в час, то есть вес отложений льда не зависит от размерений судна. При использовании метода Оверлэнда показателем интенсивности обледенения является скорость отложения льда, измеряемая в см/час, это позволяет учесть геометрические особенности судна. Поэтому метод Оверлэнда представляется более обоснованным [1].

В настоящее время в службе погоды США прогнозы обледенения судов выполняются по методу Оверлэнда для всей акватории Мирового океана и отдельных его частей (Атлантический океан, Тихий океан, Скандинавский район ( $0^{\circ}$  до  $80^{\circ}$  в.д.)). Выпуск прогнозов осуществляется с дискретностью 6 часов с заблаговременностью 7 суток [3].

### 3. Описание района исследования и исходных данных

#### 3.1. Физико-географическая характеристика Баренцева моря

Баренцево море – окраинное море Северного Ледовитого океана между берегами Северо-Западной Европы, о. Вайгач, архипелагами Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, Шпицберген и о. Медвежий.

На западе граничит с Гренландским и Норвежским морями, на юге – с Белым морем, на востоке – с Карским морем, на севере – с Северным Ледовитым океаном [15].



Рисунок 3. Карта Баренцева моря [16]

Баренцево море является самым большим по площади морем в Северном Ледовитом океане, его площадь составляет 1424 тыс. км<sup>2</sup>, а объем равен 316 тыс. км<sup>3</sup>. Наибольшая глубина 600 м [15]. Максимальная ширина Баренцева моря составляет 1050 км, а длина – около 1300 км [10].

Вдоль границ Баренцева моря много островов, особенно в архипелаге Земля Франца-Иосифа. Береговая линия сложная, сильно изрезана, с

многочисленными мысами, заливами, бухтами и фьордами. Берега Баренцева моря преимущественно абразионные, реже аккумулятивные и ледяные.

Баренцево море расположено в пределах шельфа, его большая часть имеет глубины 300-400 м. Дно моря представляет собой сложно расчленённую подводную равнину с небольшим уклоном с востока на запад, с характерным чередованием подводных возвышенностей и желобов различных направлений, на склонах которых сформировались террасовидные уступы на глубинах 200 и 70 м. Наиболее глубокие районы расположены на западе. Южная часть дна имеет глубины преимущественно менее 200 м и отличается выровненным рельефом [15].

Для Российской Федерации его наличие важно не только в плане торговли и промысла, но и в как военный форпост для размещения Военно-морского флота Российской Федерации, в том числе и атомных подлодок [10].

### 3.2. Климат исследуемого района

Для Баренцева моря характерен полярный морской климат с изменчивой погодой. Он находится под влиянием тёплого Атлантического и холодного Северного Ледовитого океанов и в целом характеризуется малой амплитудой годовых колебаний температуры воздуха, коротким холодным летом и продолжительной, сравнительно тёплой для данных широт зимой, сильными ветрами и высокой относительной влажностью воздуха.

Над акваторией Баренцева моря проходит арктический атмосферный фронт между холодным арктическим воздухом и тёплым воздухом умеренных широт. Смещение арктического фронта к югу или к северу вызывает соответствующее смещение траекторий атлантических циклонов, которые несут тепло и влагу с Северной Атлантики. Этим объясняется частая изменчивость погоды над Баренцевым морем. В зимний период циклоническая деятельность усиливается, над центральной частью Баренцева

моря преобладают юго-западные ветры со скоростями до 16 м/с, часто наблюдаются штормовые ветры. Прохладная и пасмурная погода со слабыми северо-восточными ветрами характерна для летнего периода времени. Годовое количество атмосферных осадков составляет: от 300 мм на севере до 500 мм на юго-западе [15].

Из Северной Атлантики в Баренцево море поступает значительное количество тепла. Изменение количества приходящего тепла с течениями может влиять на общую ледовитость Баренцева моря. Ледовитость моря оказывает большое влияние на экономическую деятельность региона: промысел, навигацию, добычу полезных ископаемых [12]. В апреле льды и айсберги занимают до  $\frac{3}{4}$  всей площади моря, из-за чего судоходство становится чрезвычайно опасным. Воды Баренцева моря согреваются самым северным ответвлением Гольфстрима – Нордкапским течением, которое создаёт в юго-западной части незамерзающую зону. Температура воды в ней даже в самые холодные зимы колеблется в пределах 1-3 градуса. Июль является самым тёплым месяцем в году, в это время вода в прибрежной полосе прогревается до 14 градусов [11].

Зимой средняя температура воздуха опускается до  $-7$  градусов на востоке и до  $-29^{\circ}\text{C}$  на западе. Теплые дни начинаются в июле и августе: от  $-4$  до  $+9^{\circ}\text{C}$  в северных и центральных территориях соответственно.

Соленость вод моря зависит от сезона года и района акватории. Весной и летом показатель уменьшается, но зимой увеличивается [14]. На юго-западе соленость верхнего слоя воды находится в районе 34.7-35.0‰, на востоке – 33.0-34.0 ‰, а на севере еще меньше – 32.0-33.0 ‰ [10].

В Баренцевом море круговорот поверхностных течений происходит против часовой стрелки. Воды Нордкапского течения движутся на восток вдоль берега по южной и западной периферии (Прибрежное течение), а также на север (Северное течение), влияние которого можно проследить до северных

берегов Новой Земли. Северная и восточная части круговорота формируются из собственных и арктических вод, поступающих из Карского моря и Северного Ледовитого океана. В центральной части моря существует система замкнутых круговоротов. Скорость в Прибрежном течении достигает 40 см/с, а в Северном – 13 см/с. Циркуляция вод в Баренцевом море может изменяться под воздействием ветров и обмена вод с прилегающими морями [15].

Дважды в сутки на побережье Баренцева моря можно наблюдать приливно-отливные явления. В открытом море высота приливов всего около 50 см, но в заливах подъем уровня воды может достигать 3-4 м [13].

### 3.3. Данные, используемые в исследовании

Для работы использовалась сеточная база данных с расчетными индексами обледенения *PPR* по акватории Баренцева моря. Расчет индекса обледенения в базе выполнен по методу Оверлэнда. Расчеты в базе данных производились на основе данных по температуре воздуха и скорости ветра с сайта NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) за период с 1950-2020 гг. [17], а также данным по температуре воды и её солёности из массива Levitus за аналогичный период времени [18]. По широте сетка имеет шаг в 1°, а по долготе – 5°. Временной шаг сетки составляет 6 часов.

Для анализа синоптических ситуаций использовался архив приземных и высотных карт на уровне 500 гПа на сайте Wetterzentrale [19], карты по скорости ветра и температуре воздуха, созданные на основе данных реанализа ERA (повторный анализ атмосферы ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)).

#### 4. Анализ влияния синоптической обстановки в районе Баренцева моря на обледенение морских судов

##### 4.1. Типы синоптических ситуаций, оказывающих влияние на интенсивность обледенения в Баренцевом море

Из базы данных было выделено 3175 случаев, когда на значительной территории Баренцева моря индекс обледенения  $PPR$  был больше  $53,3 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{с}$ , что соответствует сильному обледенению. Наиболее подробно было рассмотрено 82 случая с сильным обледенением. Из этих случаев в ходе работы было выделено четыре типа синоптических ситуаций, оказывающих влияние на интенсивность обледенения в Баренцевом море.

###### 1. Циклон в стадии максимального развития и заполнения

Данный тип был разделен по областям циклона, влияющих на обледенение в рассматриваемом море, на три следующих подтипа:

###### 1.1. Вся область циклона

Число случаев, относящихся к этому подтипу, составляет 32% от всех рассмотренных случаев. Ниже будут рассмотрены два случая обледенения в Баренцевом море для 23 января 1953 года в срок 18ч UTC и 11 января 1982 года в срок 12ч UTC.

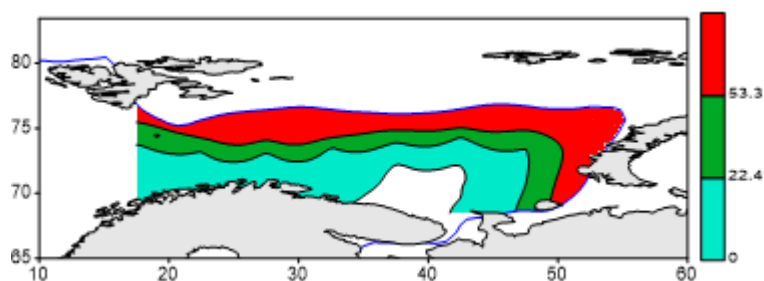


Рисунок 4. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения  $PPR$  23 января 1953 года в срок 18ч UTC

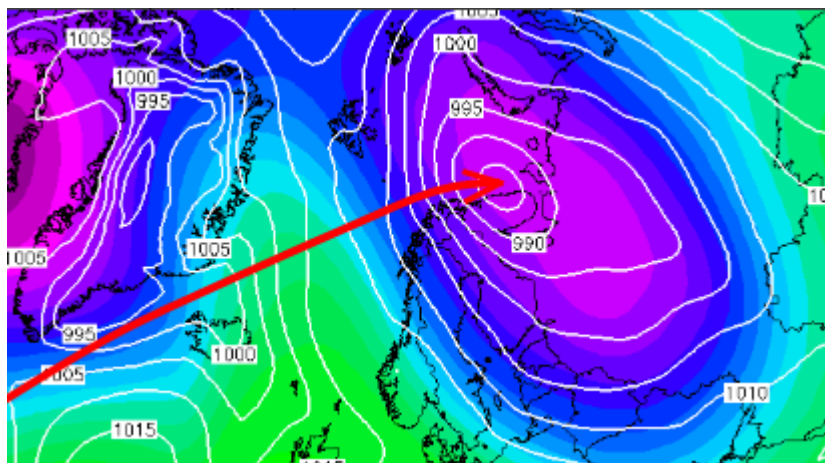


Рисунок 5. Циклон с центром над южной частью Баренцева моря 23 января 1953 года в срок 18ч UTC. Красная стрелка – траектория циклона

По рисунку 4 видно, что интенсивное обледенение в Баренцевом море в основном на его северной и восточной частях. На юго-западной акватории, у берега Кольского полуострова обледенение отсутствует. Это связано с нахождением над этой территорией центра циклона с давлением 985 гПа или 740,6 мм рт. ст. (рисунок 5). Обледенение, представленное на рисунке выше, продолжалось в течение двух дней – с 22 января 06ч UTC по 24 января 00ч UTC. Оно определялось также северо-восточными ветрами. В момент начала обледенения над центральной частью Баренцева моря располагается циклон с минимальным давлением за весь срок обледенения – 975 гПа (733 мм рт. ст.). Данный циклон зародился над Атлантикой, после чего перемещался через Гренландское море к Баренцевому (красная стрелка на рисунке 5), где достиг стадии максимального развития. Над Баренцевым морем циклон становится квазистационарным, а после начинает постепенно заполняться.



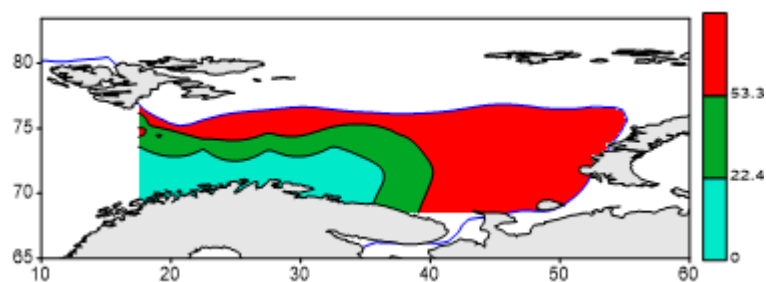


Рисунок 6. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 11 января 1982 года в срок 12ч UTC

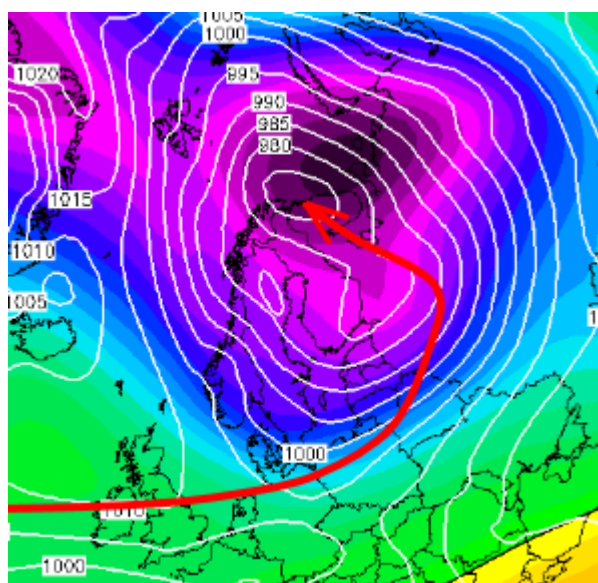


Рисунок 7. Циклон над юго-западным районом акватории Баренцева моря 11 января 1982 года в срок 12ч UTC. Красная стрелка – траектория циклона

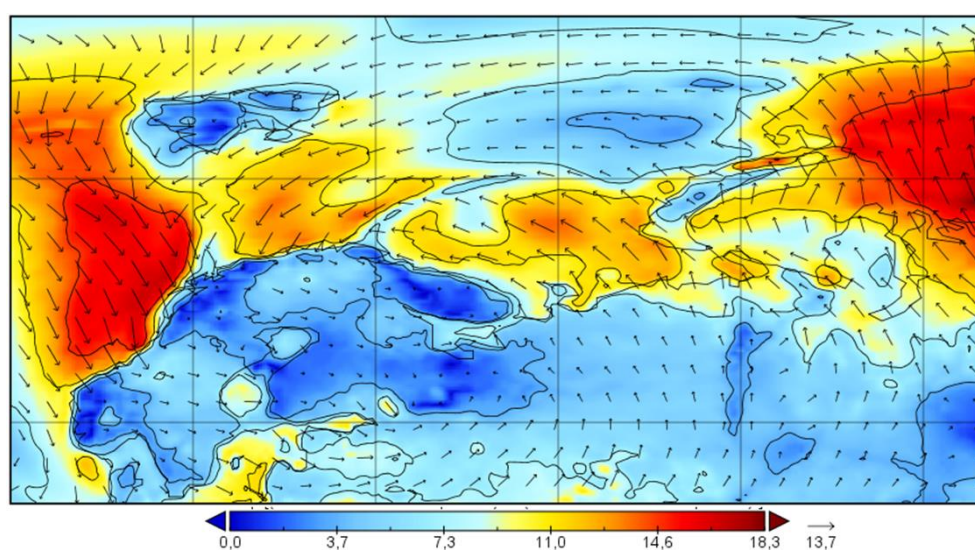


Рисунок 8. Поле скорости ветра в районе Баренцева моря 11 января 1982 года в срок 12ч UTC, м/с



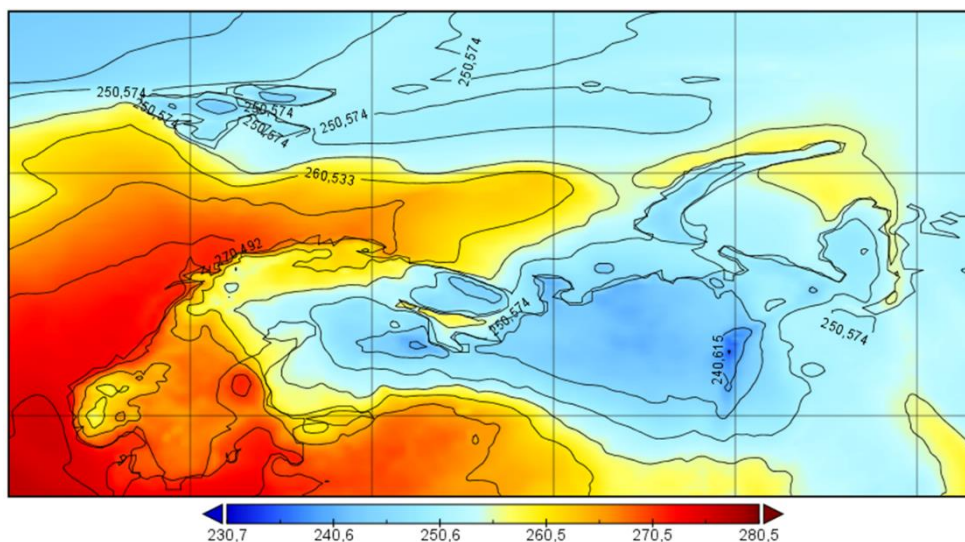


Рисунок 9. Поле температуры воздуха в районе Баренцева моря 11 января 1982 года в срок 12ч UTC, К

В данном случае индекс обледенения *PPR* превышает значение 53,3 м·°С/с преимущественно на восточной половине Баренцева моря, а также захватывает северную часть у архипелага Шпицберген (рисунок 6). По картам полей скорости ветра и температуры воздуха (рисунки 8, 9) видно, что сильному обледенению способствовали высокие скорости ветра юго-восточного направления и низкие температуры воздуха. В юго-западной части моря наблюдается легкое обледенение, которое связано с положением над ней центра циклона (рисунок 7). В рассматриваемый срок в центре циклона давление составляет 975 гПа (733 мм рт. ст.). Районом зарождения данного циклона является Атлантический океан. Траектория его движения указана красной стрелкой на синоптической карте (рисунок 7). Сначала циклон двигался через Европу в западном направлении, а по достижении Европейской территории России сменяется на северное направление. Над территорией Баренцева моря циклон проявляет себя как квазистационарный, где в последующие сроки заполняется. За время продолжения обледенения (с 10 января 00ч UTC по 13 января 06ч UTC) циклон находился в двух стадиях: максимального развития и заполнения. Наиболее интенсивное обледенение наблюдалось в течение первой стадии.

## 1.2. Тыловая часть циклона

Ниже представлены случаи, когда обледенение в Баренцевом море определялось тыловой частью циклонов, для 14 января 1964 года в срок 00ч UTC и 12 марта 1990 года в срок 18ч UTC. Всего данных случаев оказалось 12.

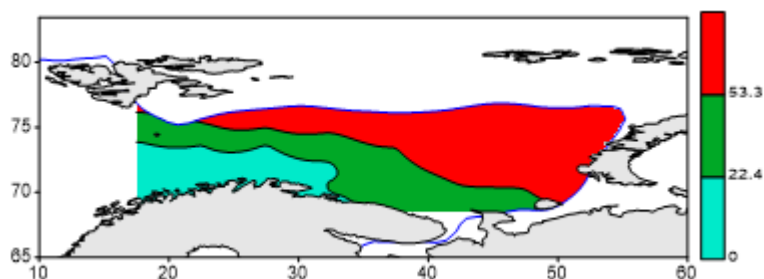


Рисунок 10. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 14 января 1964 года в срок 00ч UTC

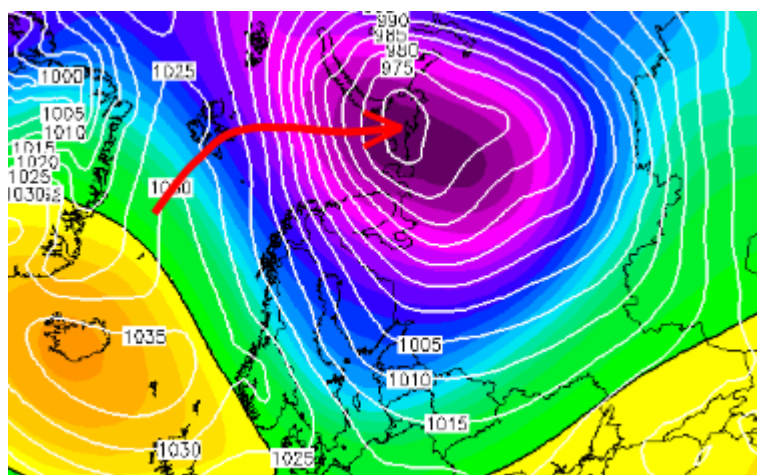


Рисунок 11. Циклон над юго-восточной частью Баренцева моря 14 января 1964 года в срок 00ч UTC. Красная стрелка – траектория циклона

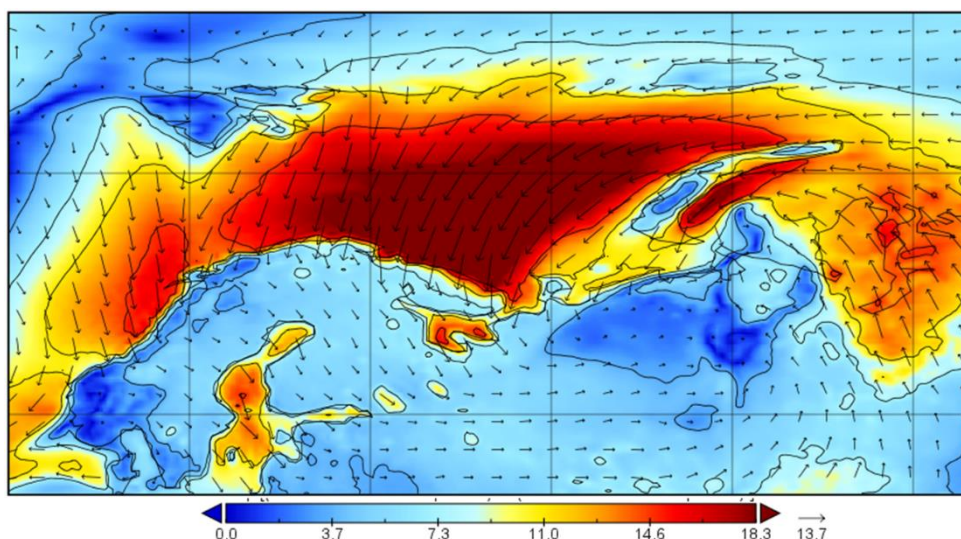


Рисунок 12. Поле скорости ветра в районе Баренцева моря 14 января 1964 года в срок 00ч UTC, м/с

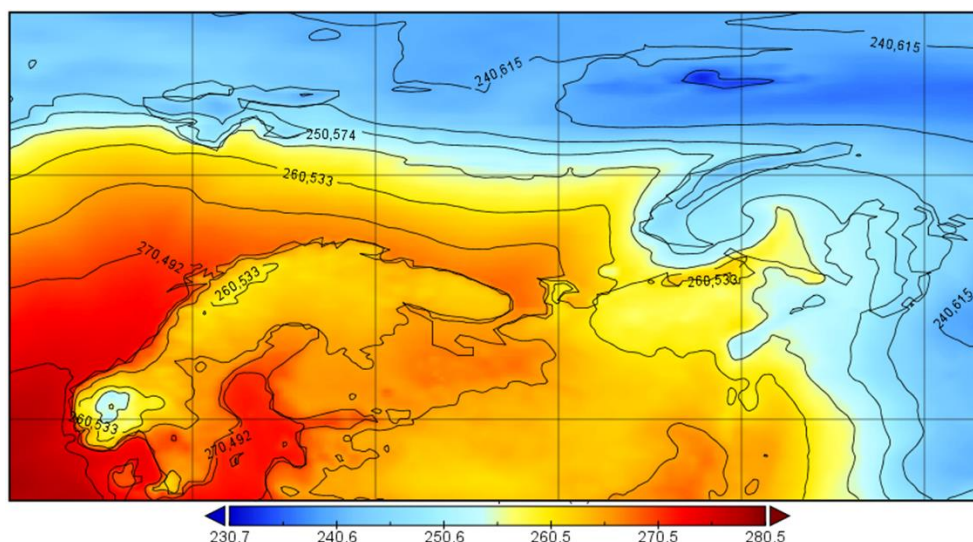


Рисунок 134. Поле температуры воздуха в районе Баренцева моря 14 января 1964 года в срок 00ч UTC, К

Обледенение продолжалось на протяжении двух суток (с 13 января 06ч UTC по 15 января 00ч UTC), а наиболее интенсивное представлено на рисунке 10. Опираясь на синоптическую ситуацию (рисунок 11) над Баренцевым морем, понимаем, что на интенсивность обледенения влияет тыловая часть циклона. На картах скорости ветра и температуры воздуха (рисунки 12, 13) замечаем, что в районе сильного обледенения наблюдаются максимальные скорости ветра, дующего с северо-востока и приносящего более холодный

арктический воздух на территорию Баренцева моря. Циклон, представленный выше, в рассматриваемый срок находится в стадии своего максимального развития со значением давления в центре, равным 970 гПа (729,3 мм рт. ст.). До стадии заполнения область пониженного давления квазистационарирует над юго-восточной частью Баренцева моря. Центр циклона располагается над южным побережьем Карского моря в стадии заполнения. На территорию Баренцева моря циклон пришел с его северо-западной стороны, перед этим образовавшись в ложбине атлантического циклона у восточного берега острова Гренландия. На рисунке 11 траектория движения циклона обозначена красной стрелкой.

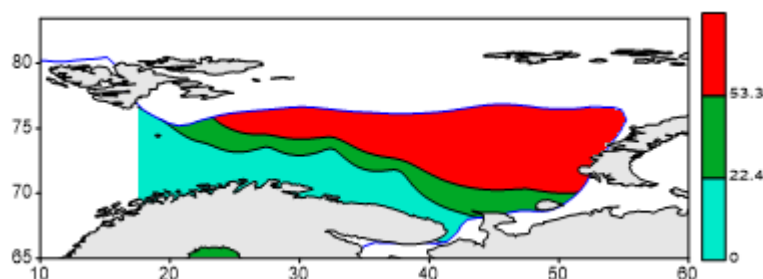


Рисунок 54. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 12 марта 1990 года в срок 18ч UTC

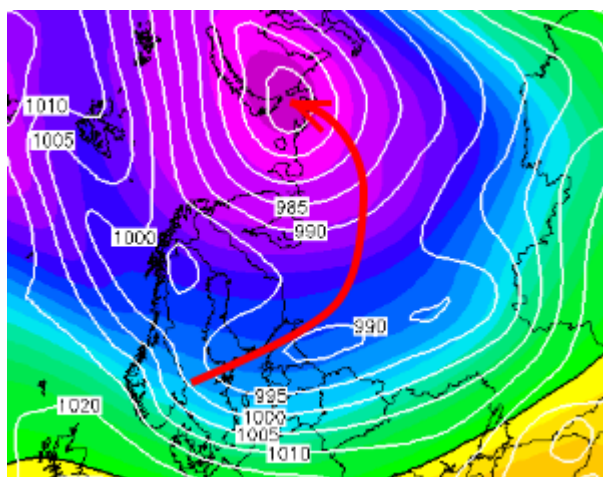


Рисунок 15. Циклон с центром над юго-восточной частью Баренцева моря 12 марта 1990 года в срок 18ч UTC. Красная стрелка – траектория циклона

В ложбине циклона, располагающегося над северной частью моря Лаптевых, образовалась зона пониженного давления. Районом ее



формирования стала Скандинавия, а давление в центре составило 985 гПа (740,6 мм рт. ст.). Циклон постепенно углублялся и смещался в восточном направлении. Находясь над севером Европейской территории России, происходит смена направления на северо-восточное из-за зоны повышенного давления над Азией (красная стрелка на рисунке 15). К началу обледенения (с 12 марта 00ч UTC по 13 марта 18ч UTC) депрессия уже достигает стадии максимального развития с минимальным давлением 965 гПа (725,6 мм рт. ст.). Циклон продолжает движение и в момент наиболее сильного обледенения (рисунок 14) его центр располагается над юго-восточной частью Баренцева моря (рисунок 15). Таким образом, тыловая часть циклона определяет интенсивность обледенения в Баренцевом море. Здесь также наблюдаются ветра, дующие с северо-востока на юго-запад. К моменту окончания обледенения, которое продлилось двое суток, рассматриваемый циклон заполняется и давление в его центре равняется 985 гПа (740,6 мм рт. ст.).

### 1.3. Периферия циклона

Было выделено 6 случаев, когда на интенсивность обледенения в Баренцевом море влияла периферийная часть циклонических образований. Ниже рассматривается два случая с наибольшей площадью сильного обледенения: 29 марта 1987 года в срок 18ч UTC и 27 марта 1997 года в срок 18ч UTC.

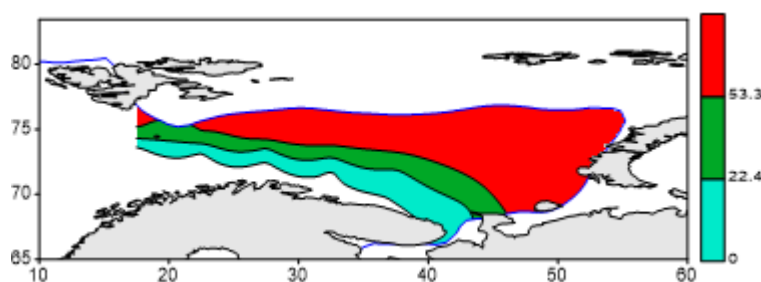


Рисунок 16. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 29 марта 1987 года в срок 18ч UTC

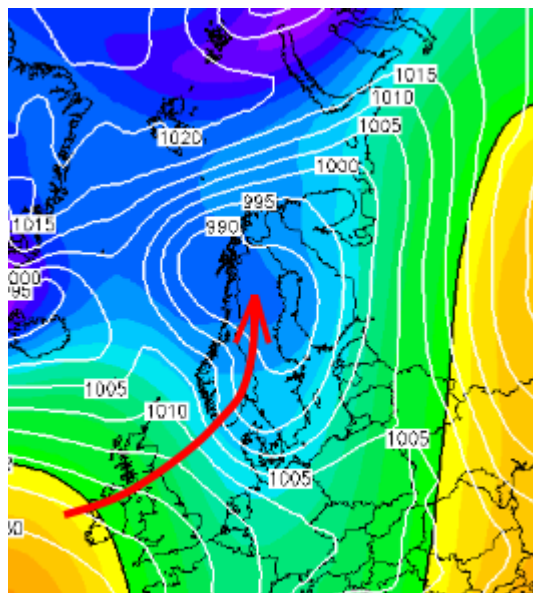


Рисунок 67. Циклон над Скандинавией и ложбиной на юге Баренцева моря 29 марта 1987 года в срок 18ч UTC. Красная стрелка – траектория циклона

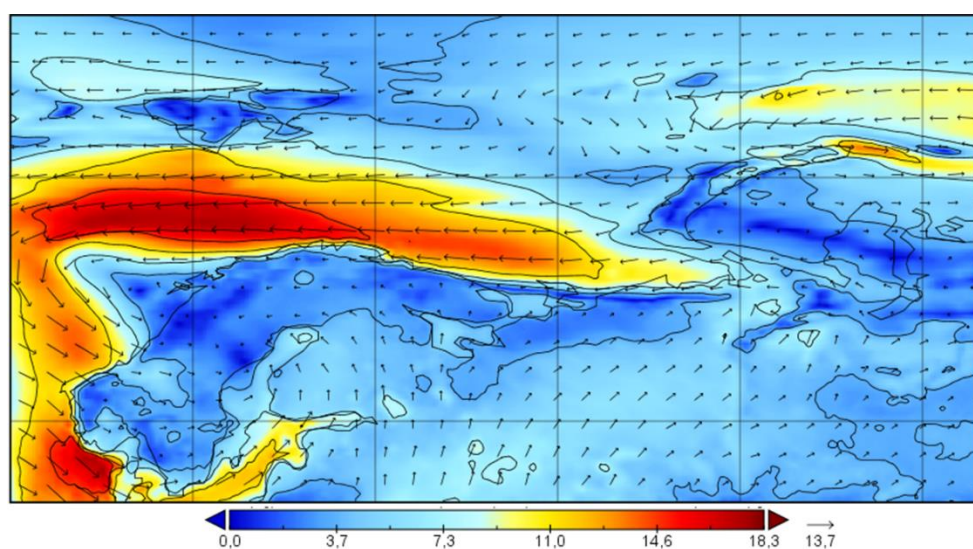


Рисунок 78. Поле скорости ветра в районе Баренцева моря 29 марта 1987 года в срок 18ч UTC, м/с

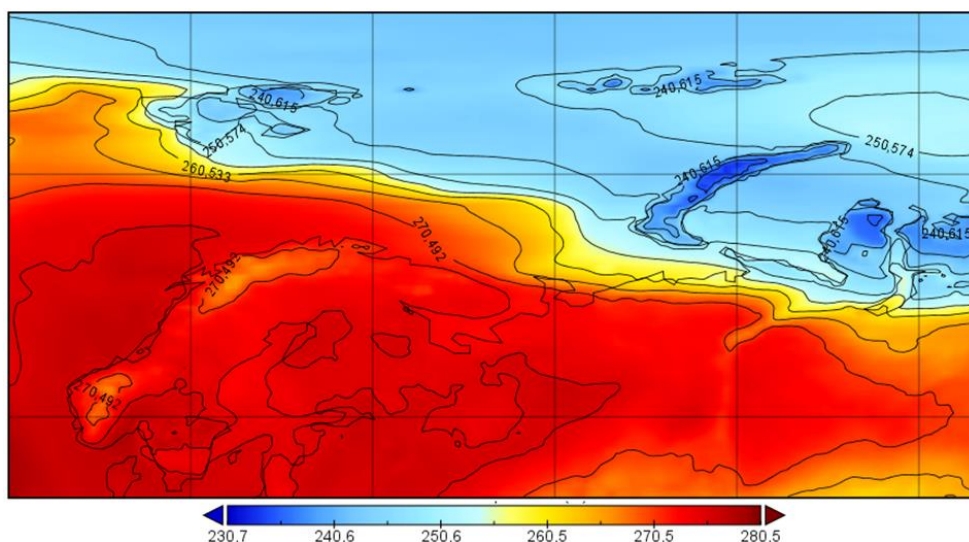


Рисунок 89. Поле температуры воздуха в районе Баренцева моря 29 марта 1987 года в срок 18ч UTC, К

После рассмотрения рисунков 16 и 17 видно, что сильное обледенение определяется периферией циклона, находящегося над Скандинавией. Ложбина этого циклона простирается через южную часть Баренцева моря. На картах скорости ветра и температуры (рисунки 18, 19) видно восточное направление ветра больших скоростей и низкие значения температуры воздуха в районе сильного обледенения. Областью возникновения циклона является Атлантический океан, траектория движения проходит через остров Великобритания и Северное море. Затем циклон движется над Скандинавским полуостровом в сторону его северной части. На рисунке 17 красной стрелкой показано движение циклона с момента его образования. К моменту начала обледенения (28 марта 18ч UTC) в Баренцевом море рассматриваемый циклон находится в стадии максимального развития с давлением 970 гПа или 729,3 мм рт. ст., но через 6 часов начинает заполняться. 29 марта 1987 года в срок 18ч UTC, когда наблюдалось наиболее сильное по интенсивности обледенение в Баренцевом море, давление в центре циклона составляло 990 гПа (744,4 мм рт. ст.). Обледенение продолжалось в течение трех дней, до 31 марта 12ч UTC.

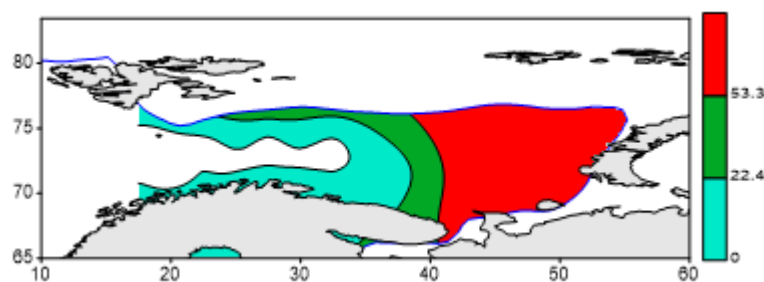


Рисунок 20. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 27 марта 1997 года в срок 18ч UTC

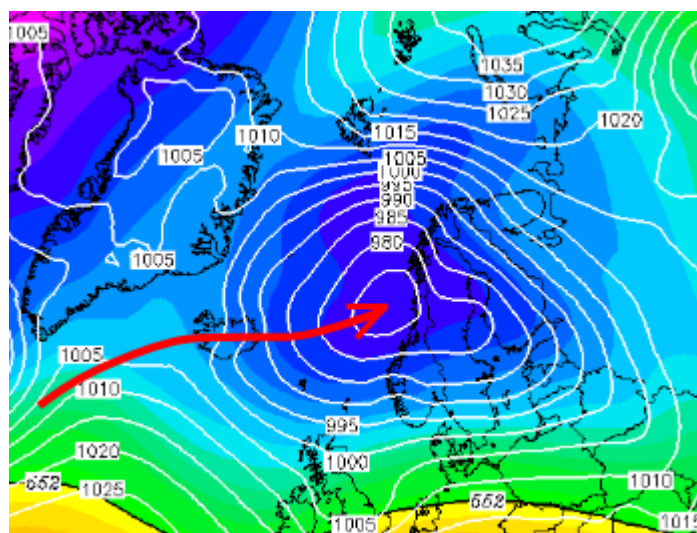


Рисунок 21. Циклон с центром над восточной частью Норвежского моря 27 марта 1997 года в срок 18ч UTC. Красная стрелка – траектория циклона

В период обледенения в Баренцевом море, с 26 марта 00ч UTC по 28 марта 12ч UTC, циклоническое барическое образование находилось в стадии максимального развития и в стадии заполнения. Областью возникновения депрессии является Атлантика. На рисунке 21 красной стрелкой показано движение циклона. Когда в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* стало наблюдаться обледенение, циклон располагался над западной областью Норвежского моря в стадии максимального развития (965 гПа или 725,6 мм рт. ст.). Через сутки произошла смена стадии на стадию заполнения. На рисунке 20 представлено обледенение 27 марта в срок 18ч UTC, по которому видно, что сильное обледенение находится на восточной части моря. Этому процессу способствует положение периферийной части



циклона, представленное на рисунке 21, и потоки воздуха преимущественно северо-западного и северного направлений. Давление в центре соответствует значению 975 гПа или 733 мм рт. ст., а сам центр располагается над восточной акваторией Норвежского моря.

## 2. Молодой циклон, сформировавшийся в районе Баренцева моря

На основе 27 случаев был выделен тип циклонических образований, районом зарождения которых является Баренцево море. 3 марта 1986 года в срок 12ч UTC и 11 марта 1993 года в срок 00ч UTC молодой циклон влиял на площадь и интенсивность обледенения.

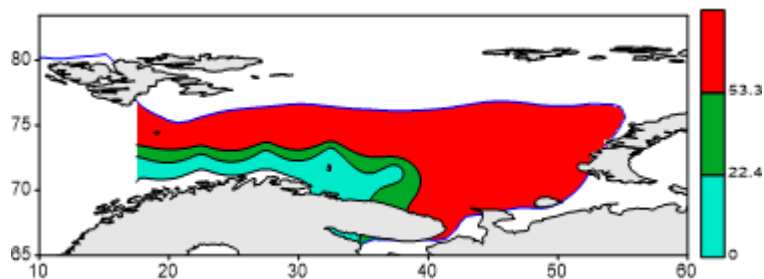


Рисунок 22. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 3 марта 1986 года в срок 12ч UTC

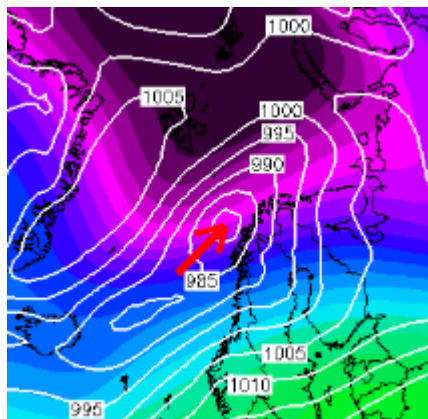


Рисунок 93. Циклон над северо-восточным районом Норвежского моря 3 марта 1986 года в срок 12ч UTC. Красная стрелка – траектория циклона

Циклон образовался в ложбине над северо-восточной границей Норвежского моря с Баренцевым морем, траектория движения указана красной стрелкой на рисунке 23. Обледенение наблюдалось с момента

формирования циклона до стадии заполнения (с 3 марта 00ч UTC по 5 марта 06ч UTC). Самое сильное обледенение за этот промежуток времени представлено на рисунке 22 и занимает восточную половину и северную часть моря. Это определяется периферией циклона и главным образом его ложбиной, протянувшейся на северо-восток моря, что видно на рисунке 23. Ветер в данный срок дует с юго-запада. Давление в центре составляет 980 гПа (736,8 мм рт. ст.) и циклон находится в стадии молодого циклона. За период обледенения минимальным давлением стало значение, равное 965 гПа или 725,6 мм рт. ст., тогда центр депрессии располагался над восточным районом Баренцева моря. Стадия заполнения началась, когда циклон находился над Карским морем.

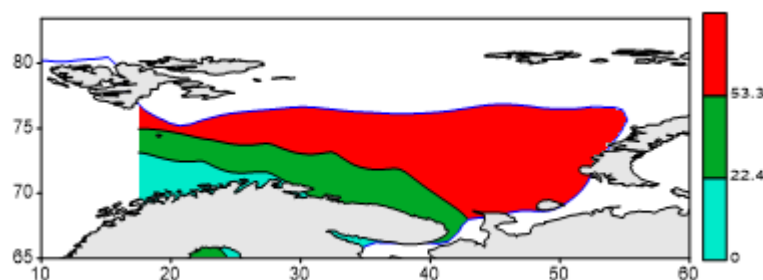


Рисунок 104. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 11 марта 1993 года в срок 00ч UTC

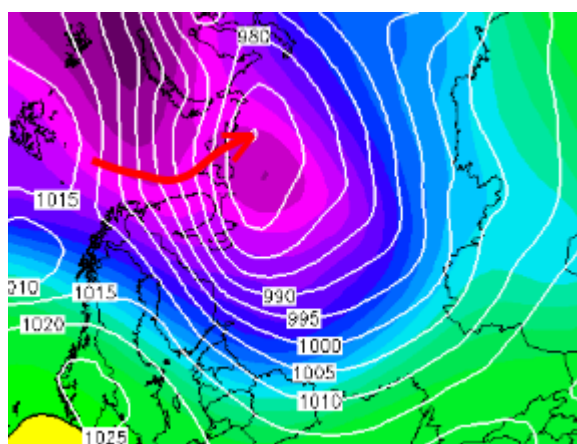


Рисунок 115. Циклон с центром над северо-востоком Европейской территории России 11 марта 1993 года в срок 00ч UTC. Красная стрелка – траектория циклона

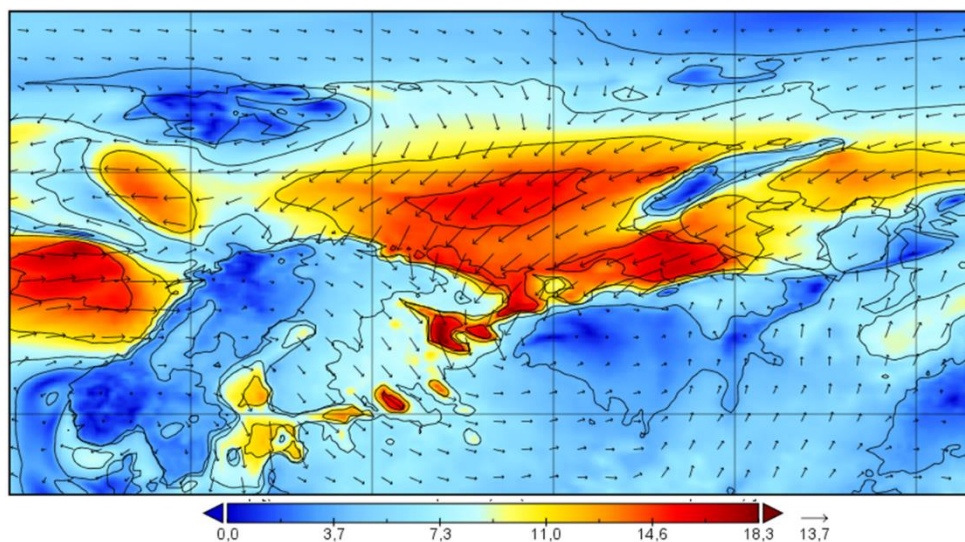


Рисунок 126. Поле скорости ветра в районе Баренцева моря 11 марта 1993 года в срок 00ч UTC, м/с

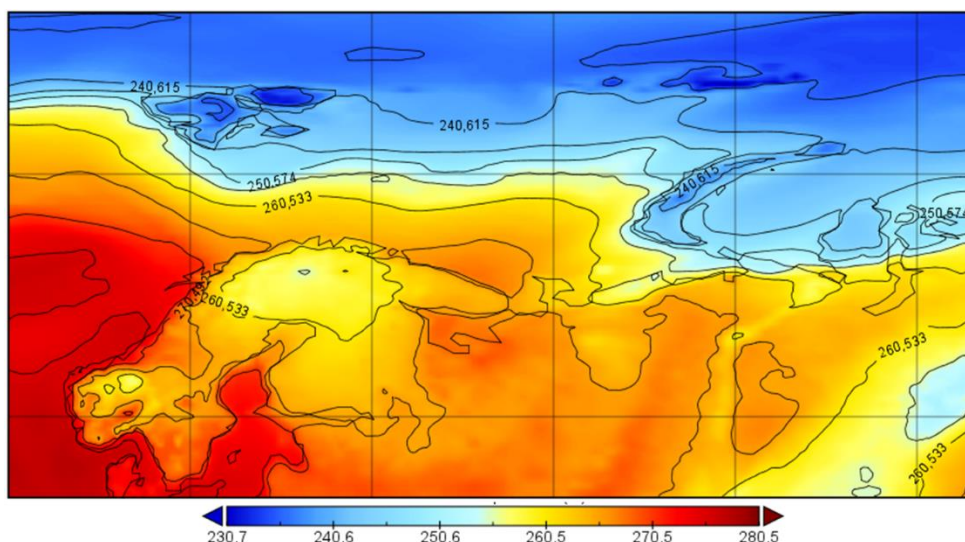


Рисунок 137. Поле температуры воздуха в районе Баренцева моря 11 марта 1993 года в срок 00ч UTC, К

Обледенение, наблюдающееся с 9 марта 00ч UTC по 13 марта 18ч UTC, продлилось в условиях нахождения зоны пониженного давления во всех четырех стадиях развития. Депрессия с давлением 985 гПа (740,6 мм рт. ст.) сформировалась в ложбине атлантического циклона в районе западной части Баренцева моря. На рисунке 25 представлена траектория движения циклона красной стрелкой. Циклон смещался на северо-восток Баренцева моря и за сутки перешел от стадии молодого циклона к стадии максимального развития.

11 марта в срок 00ч UTC наблюдалось наиболее интенсивное обледенение в Баренцевом море (рисунок 24), охватывающее сильным обледенением около 50% акватории моря. По синоптической карте (рисунок 25) видно, что над Баренцевым морем в этот срок располагается тыловая часть циклона с центром над северо-востоком Европейской территории России. Минимальным давлением в центре циклона стало значение в 970 гПа или 729,3 мм рт. ст., что говорит о стадии максимального развития циклона в рассматриваемый срок. Также на рисунке 25 заметно сгущение изобар, соответствующих сильным потокам воздуха с северо-востока (рисунок 26), приносящих холодные воздушные массы на территорию моря (рисунок 27). В последующие сроки давление в центре стало повышаться, а депрессия смещаться на северо-восток к морю Лаптевых и вытягиваться с севера на юг.

### 3. Периферия и гребень антициклона

На интенсивность обледенения в Баренцевом море также оказывали влияние антициклонические барические образования, а именно их периферийная часть. Случаев, которые относятся к данному типу, насчитывается семь. Далее представлены рисунки обледенения в Баренцевом море и синоптические ситуации для 18 декабря 1968 года в срок 00ч UTC и 28 января 1983 года в срок 12ч UTC.

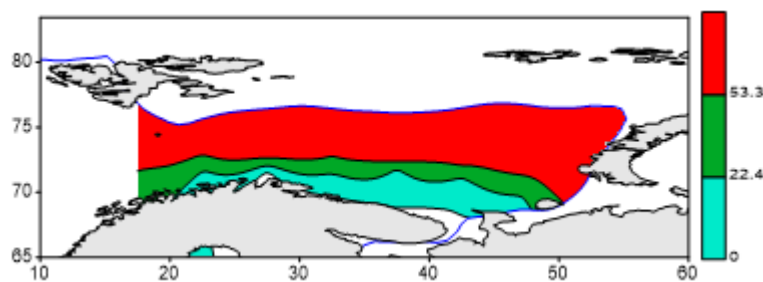


Рисунок 148. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 18 декабря 1968 года в срок 00ч UTC



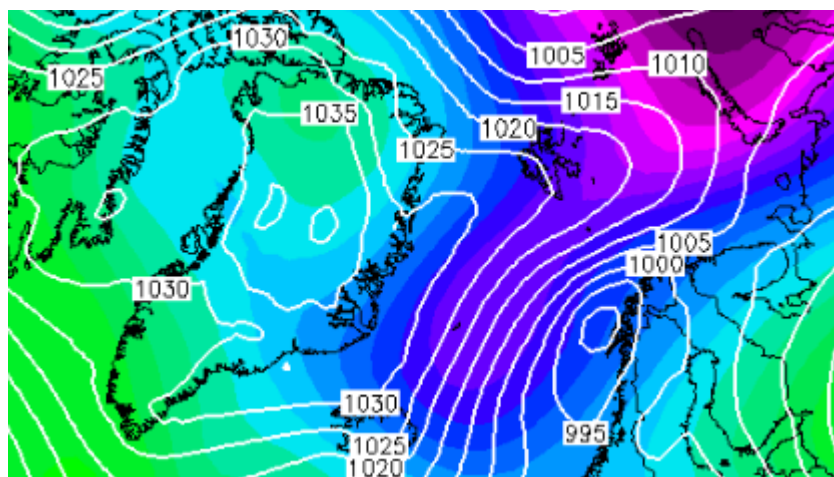


Рисунок 159. Антициклон с центром над островом Гренландия и гребнем над Баренцевым морем 18 декабря 1968 года в срок 00ч UTC

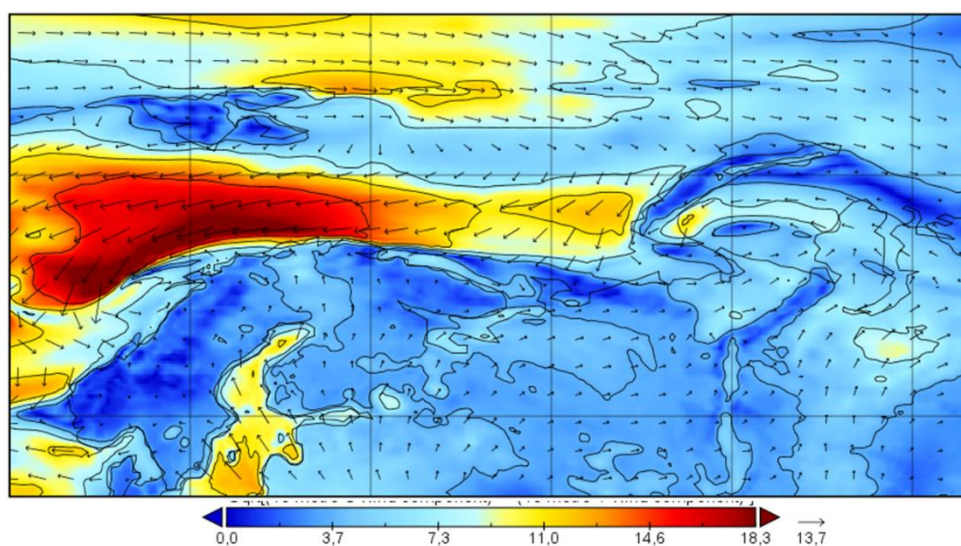


Рисунок 30. Поле скорости ветра в районе Баренцева моря 18 декабря 1968 года в срок 00ч UTC, м/с

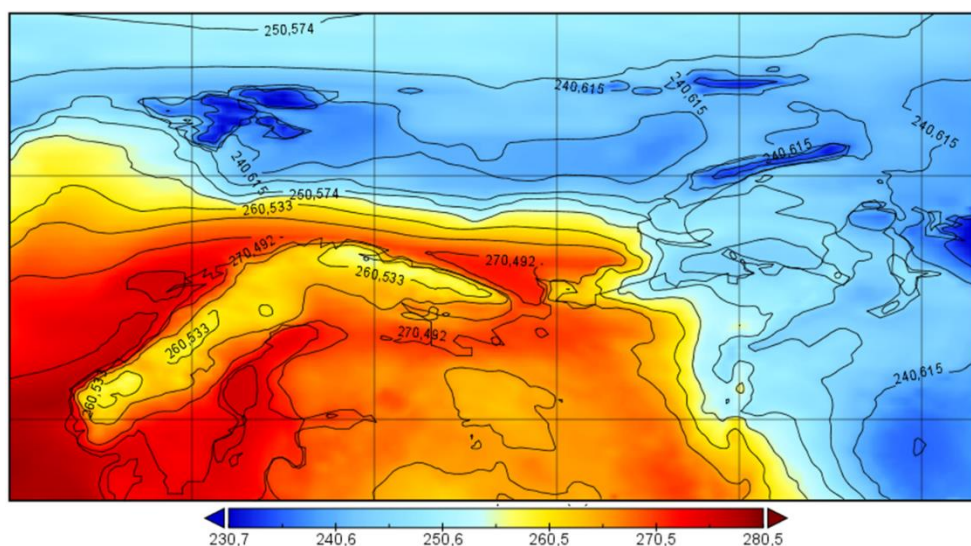


Рисунок 31. Поле температуры воздуха в районе Баренцева моря 18 декабря 1968 года в срок 00ч UTC, К

Обледенение начало наблюдаться, когда гребень антициклона достиг северо-западной части Баренцева моря. Обледенение продолжалось в период с 16 декабря 12ч UTC по 20 декабря 06ч UTC. Антициклоническое барическое поле образовалось над центром острова Гренландия и в течение всего обледенения было квазистационарным. По рисунку 28 видно, что по всей площади Баренцева моря наблюдается обледенение и вся его северная половина покрыта сильным обледенением. Обращаясь к рисунку 29, становится понятно, что такое распределение обледенения зависит от положения гребня антициклона, протянувшегося до архипелага Новая Земля. Также положение антициклона позволяет северо-западным ветрам (рисунок 30) переносить на акваторию моря холодные воздушные арктические массы (рисунок 31). В рассматриваемый срок у антициклона образовалось два центра и значение давления в них составляет 1040 гПа (781,9 мм рт. ст.). В следующие сроки гребень антициклона начнет исчезать, а антициклон постепенно разрушится.

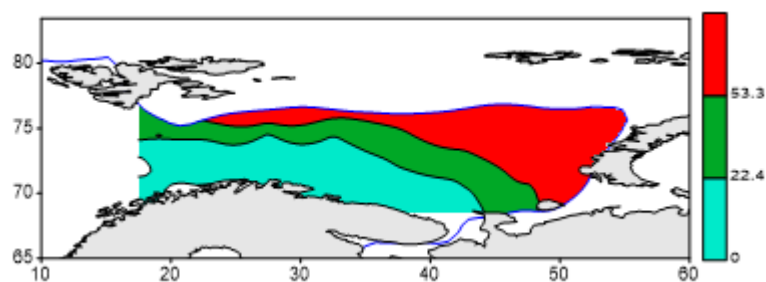


Рисунок 32. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 28 января 1983 года в срок 12ч UTC

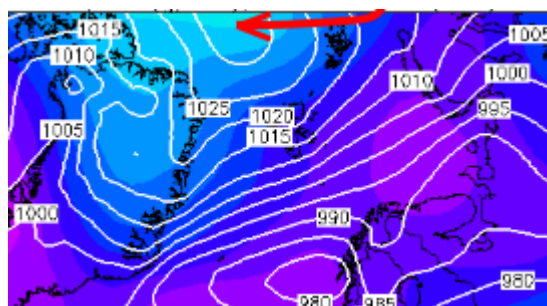


Рисунок 163. Антициклон над Северным Ледовитым океаном 28 января 1983 года в срок 12ч UTC. Красная стрелка – траектория антициклона

В данном случае определяющим синоптическим фактором обледенения в Баренцевом море является периферия антициклонического образования. Сформировался антициклон в районе Северного Ледовитого океана севернее архипелага Новая Земля. Затем постепенно сместился на запад в район океана севернее архипелага Шпицберген (красная стрелка на рисунке 33). В момент расположения здесь антициклона (рисунок 33) было интенсивное обледенение (рисунок 32) за весь период его продолжения с 27 января 06ч UTC по 29 января 00ч UTC. Давление в центре было равно 1030 гПа или 774,4 мм рт. ст., которое оказалось максимальным за все двое суток обледенения. Ветер преимущественно имел восточное или северо-восточное направления.

4. Циклон в стадии максимального развития, пришедший с острова Гренландия

Данный тип похож на рассмотренный ранее первый тип синоптической ситуации: тыловая часть циклона в стадии максимального развития и

заполнения. Однако был выделен из-за необычной траектории движения. Насчитывается три случая из рассмотренных 82 случаев. Из этого следует вывод, что такой тип влияния синоптической ситуации на обледенение в Баренцевом море является достаточно редким. Ниже рассматриваются только два случая, когда сильное обледенение занимало значительную площадь из выделенных трех случаев. К таким относится обледенение, наблюдающееся 26 февраля 1962 года в срок 12ч UTC и 11 января 1969 года в срок 00ч UTC.

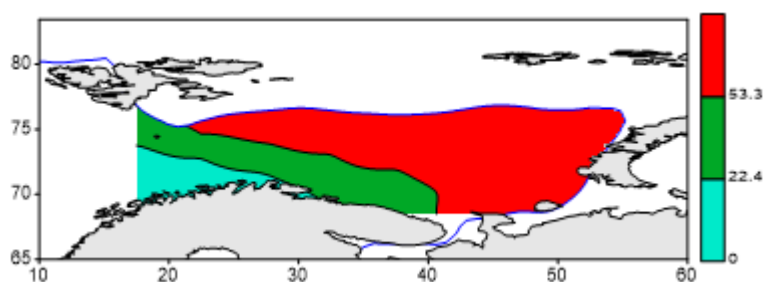


Рисунок 174. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 26 февраля 1962 года в срок 12ч UTC

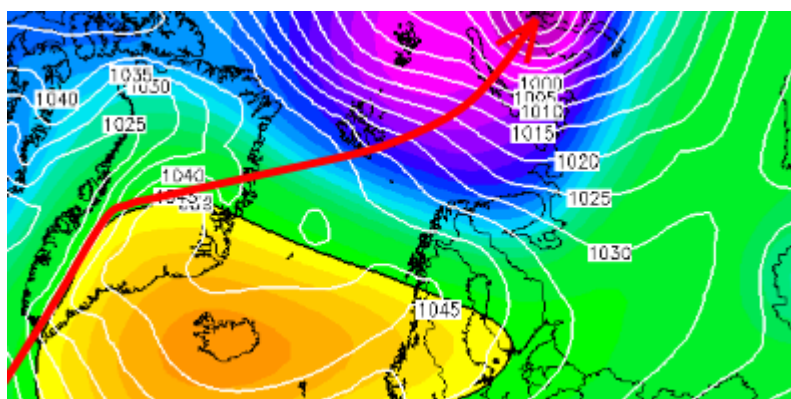


Рисунок 185. Циклон в районе моря Лаптевых 26 февраля 1962 года в срок 12ч UTC. Красная стрелка – траектория циклона



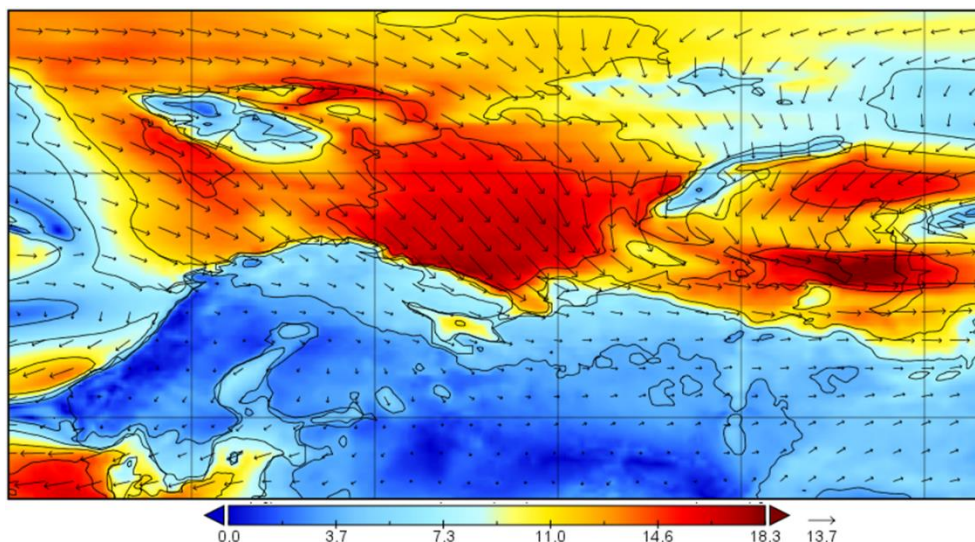


Рисунок 196. Поле скорости ветра в районе Баренцева моря 26 февраля 1962 года в срок 12ч UTC, м/с

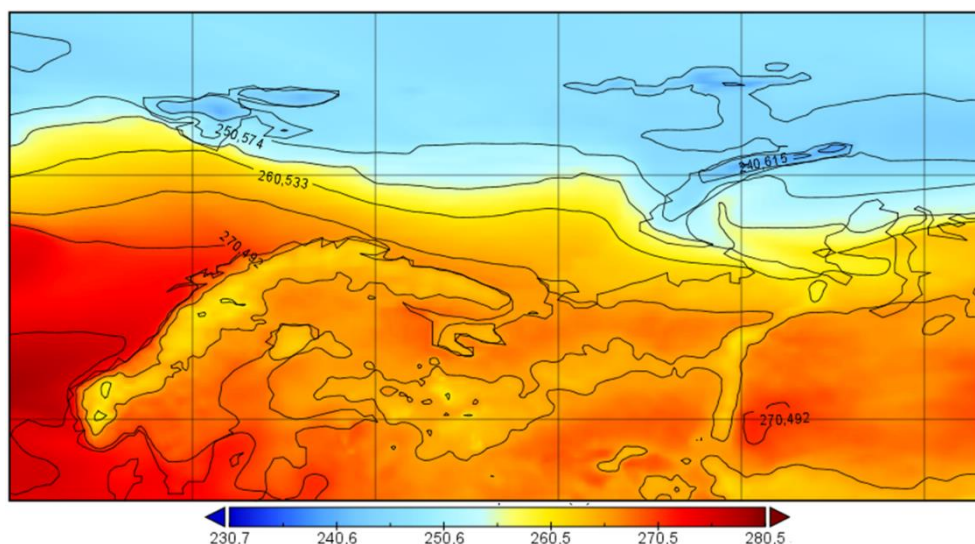


Рисунок 207. Поле температуры воздуха в районе Баренцева моря 26 февраля 1962 года в срок 12ч UTC, К

Большая часть северной области и вся западная половина Баренцева моря заняты сильным обледенением (рисунок 34). Такая интенсивность обледенения связана с тыловой частью циклона, располагающегося в районе моря Лаптевых (рисунок 35). Этот циклон сформировался в Атлантическом океане, а траектория его движения лежала через остров Гренландия и все Баренцево море по его северной части. На рисунке 35 траектория движения циклона показана красной стрелкой. На карте поля температуры воздуха

(рисунок 37) в районе сильного обледенения отмечаются более низкие значения температуры, чем на остальной территории моря. Циклон определял северо-западное направление ветра с высокими скоростями (рисунок 36), что также оказывало влияние на сильное обледенение. Обледенение продолжалось ровно в течение суток, 26 февраля с 00ч UTC по 18ч UTC. Оно началось, когда циклон достиг стадии максимального развития с давлением 980 гПа (736,8 мм рт. ст.) и его центр был над западным районом Карского моря у берега архипелага Новая Земля.

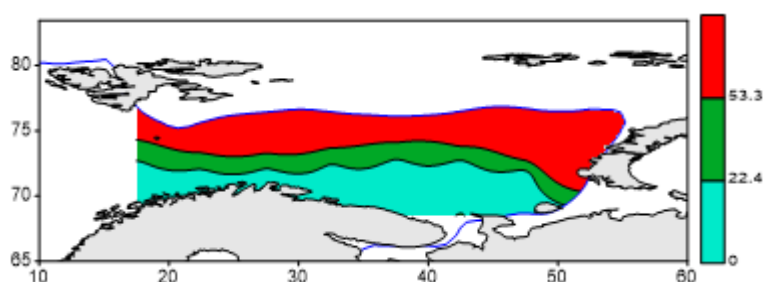


Рисунок 218. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 11 января 1969 года в срок 00ч UTC

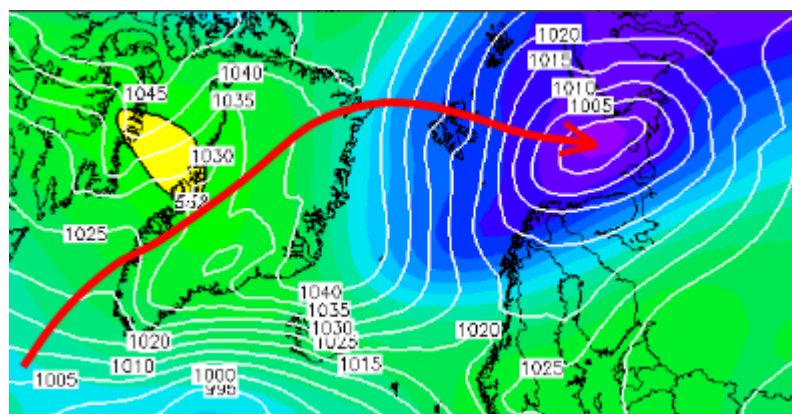


Рисунок 229. Циклон над акваторией Баренцева моря 11 января 1969 года в срок 00ч UTC. Красная стрелка – траектория циклона

По рисунку 38 замечается расположение сильного обледенения в северной части Баренцева моря, а легкого – в южной части. Последнее объясняется положением центра области пониженного давления, а сильное обледенение определяется ее тыловой частью. Это можно увидеть на рисунке 39, на котором представлен для данного срока циклон с давлением в центре

1000 гПа (751,9 мм рт. ст.). Как следует из названия данного типа, циклон пришел с острова Гренландия. Оказавшись над Баренцевым морем, депрессия медленно смещается с центральной области до юго-восточной, что можно увидеть на рисунке 39 (красная стрелка). В Баренцевом море наблюдалось обледенение с 10 января 00ч UTC по 12 января 12ч UTC, то есть в течение трех дней. В срок, представленный на рисунках выше, циклон находился в стадии максимального развития. Потоки воздуха, приходящие на акваторию Баренцева моря, в рассматриваемый срок были направлены с востока на запад.

#### 4.2. Особые случаи синоптических ситуаций, выделенные в работе

Помимо рассмотренных выше случаев, стоит отметить следующие случаи, относящиеся к особым:

##### 4.2.1. Минимальное давление в центре циклона

Самое минимальное давление в центре циклона составляло 955 гПа (718 мм рт. ст.). С таким значением давления оказалось три случая из всех рассматриваемых в данной работе. Для этих случаев ниже представлены синоптические ситуации и рисунки в моменты начала и окончания, а также самого интенсивного обледенения в Баренцевом море. Циклон с минимальным давлением в центре наблюдался в течение следующих временных периодов: 28 января 1981 года в срок 00ч UTC – 29 января 1981 года в срок 18ч UTC, 29 января 1989 года в срок 12ч UTC – 31 января 1989 года в срок 18ч UTC и 12 января 1993 года в срок 12ч UTC – 14 января 1993 года в срок 06ч UTC.

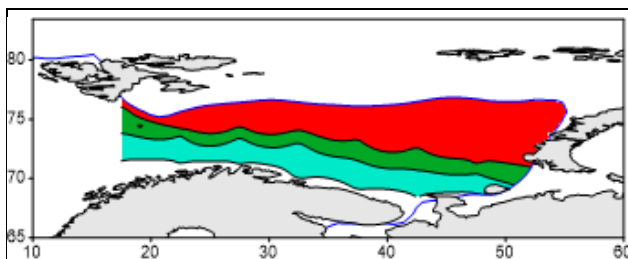


Рисунок 23. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 28 января 1981 года в срок 00ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

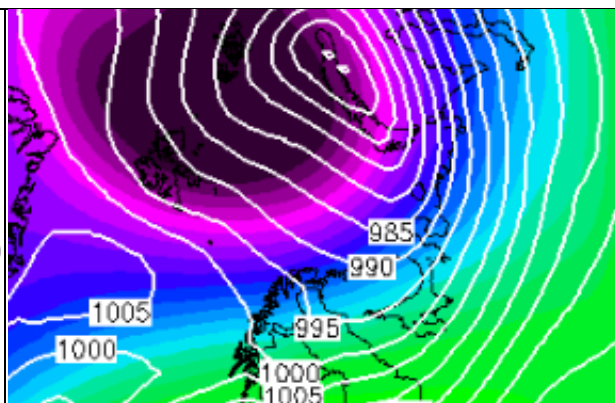


Рисунок 41. Циклон над северной частью архипелага Новая Земля 28 января 1981 года в срок 00ч UTC

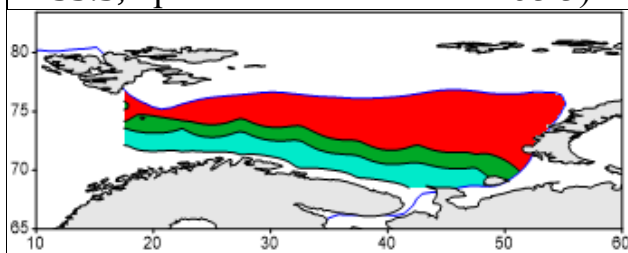


Рисунок 42. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 28 января 1981 года в срок 12ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

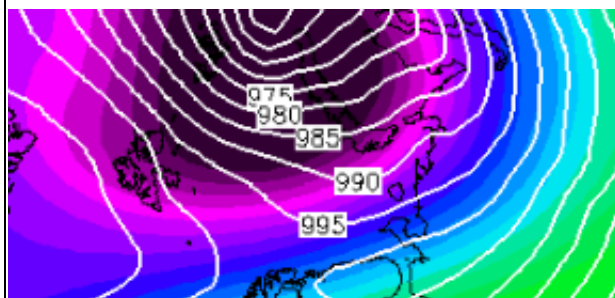


Рисунок 243. Циклон с центром в районе северной части архипелага Новая Земля 28 января 1981 года в срок 12ч UTC

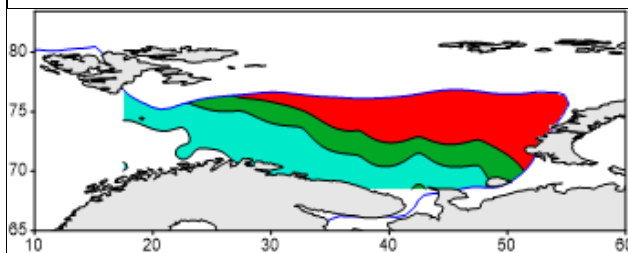


Рисунок 254. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 29 января 1981 года в срок 18ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

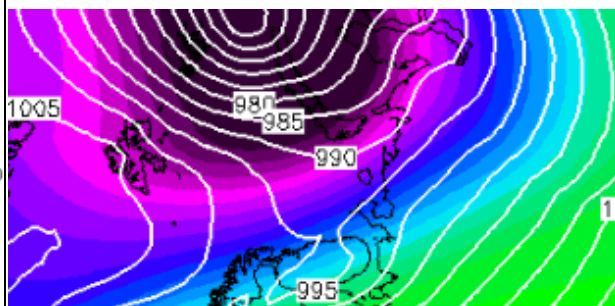


Рисунок 265. Циклон с центром в районе северной части архипелага Новая Земля 29 января 1981 года в срок 18ч UTC

Продолжалось обледенение за представленный выше срок в течение двух дней. По рисунку 40 видно, что в момент начала обледенения им покрыта

вся северная и северо-восточная части Баренцева моря. На рисунке 42 прослеживается, насколько увеличилось по площади сильное обледенение. К концу срока, представленному на рисунке 44, площадь сильного обледенения значительно сокращается и покрывает всю северо-восточную область моря. На обледенение в данный срок влияет тыловая часть циклона (рисунки 41, 43 и 45). Циклоническое барическое образование сформировалось над Атлантическим океаном, а к моменту начала обледенения достигло севера архипелага Новая Земля и стадии максимального развития. Затем циклон смещается на север и в районе северной части Карского моря начинает квазистационарировать вплоть до окончания обледенения в Баренцевом море. Сильное обледенение зависит от сильного барического поля, в котором наблюдаются сильные северные ветры.



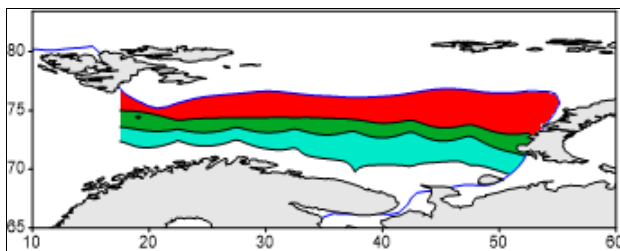


Рисунок 276. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 29 января 1989 года в срок 12ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

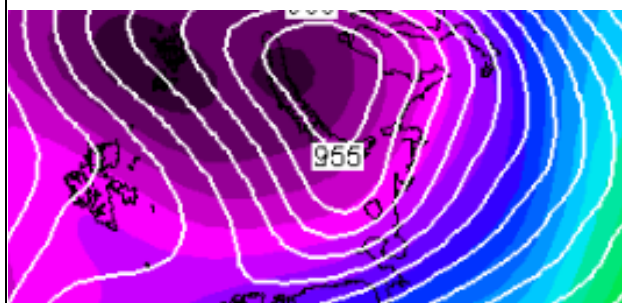


Рисунок 287. Циклон над Карским морем 29 января 1989 года в срок 12ч UTC

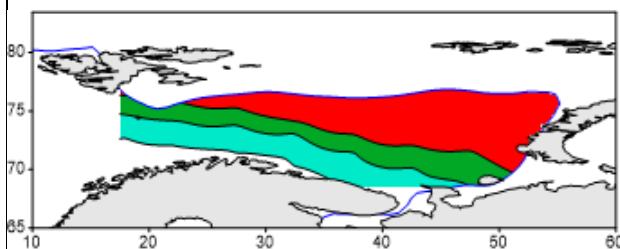


Рисунок 298. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 31 января 1989 года в срок 06ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

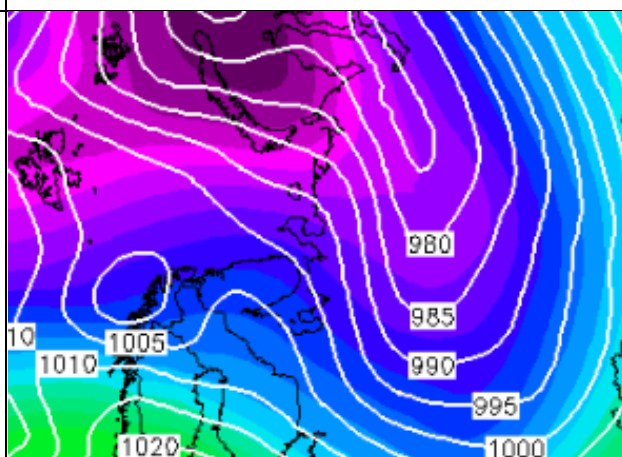


Рисунок 309. Циклон с двумя центрами над севером Карского моря и северо-западом азиатской части Евразии 31 января 1989 года в срок 06ч UTC

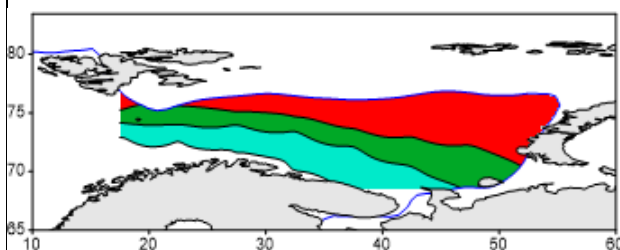


Рисунок 50. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 31 января 1989 года в срок 18ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

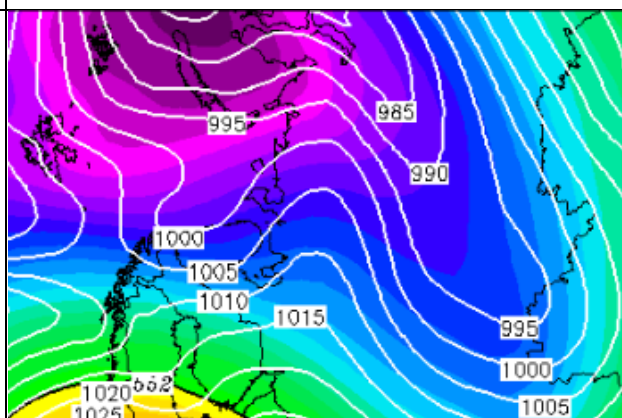


Рисунок 51. Циклон с центром над северной частью акватории Карского моря 31 января 1989 года в срок 18ч UTC

В данном случае на площадь и интенсивность обледенения в Баренцевом море также влияла тыловая часть циклона за весь период его наблюдения. Циклон образовался над Атлантикой, а затем через Гренландское море достиг центральной части Карского моря (рисунок 47). Здесь депрессия находится в стадии максимального развития с минимальным давлением в центре (955 гПа или 718 мм рт. ст.). На рисунке 46 видно зональное распределение обледенения, которым занято около 75% площади акватории Баренцева моря. К 31 января 1989 года 06ч UTC площадь обледенения увеличивается, а сильное обледенение смещается и теперь покрывает северо-восточную область моря (рисунок 48). В этот момент циклон уже сместился на север Карского моря и давление в его центре увеличилось до 975 гПа (733 мм рт. ст.). Это можно заметить на рисунке 49. К окончанию срока сильное обледенение на северо-восточной части Баренцева моря несколько уменьшается, но снова покрывает и его северную часть (рисунок 50). Сравнивая рисунки 49 и 51, замечаем на последнем уменьшение расстояния между изобарами, что соответствует усилению ветра, дующего с севера. Этим объясняется распределение сильного по интенсивности обледенения.



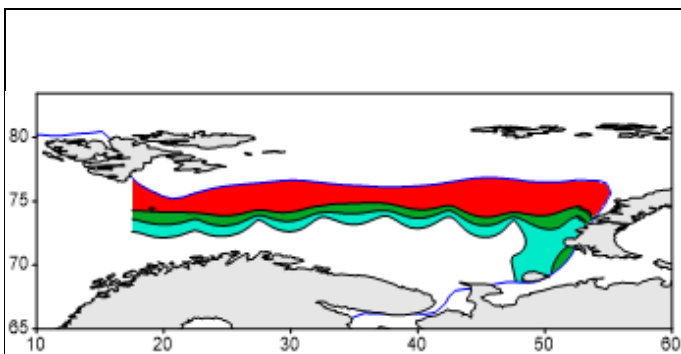


Рисунок 52. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 12 января 1993 года в срок 12ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

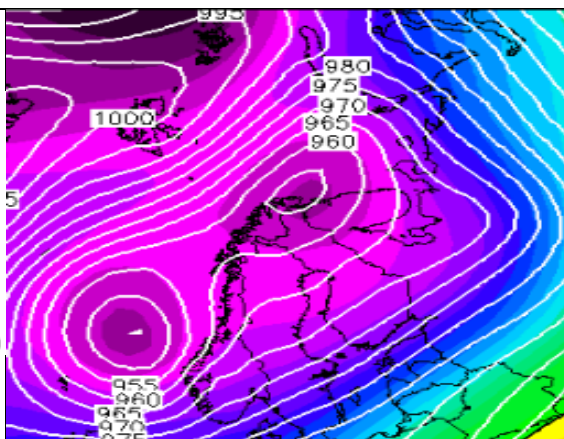


Рисунок 313. Циклон с двумя центрами над восточным районом Норвежского моря и юго-западной частью Баренцева моря 12 января 1993 года в срок 12ч UTC

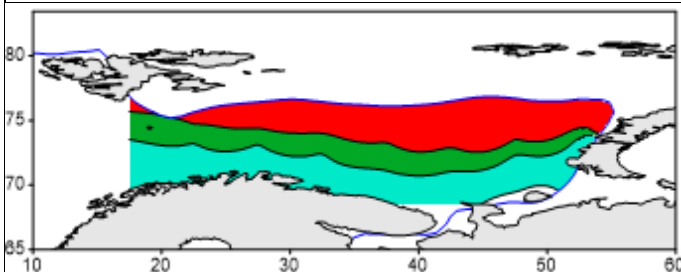


Рисунок 324. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 14 января 1993 года в срок 00ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

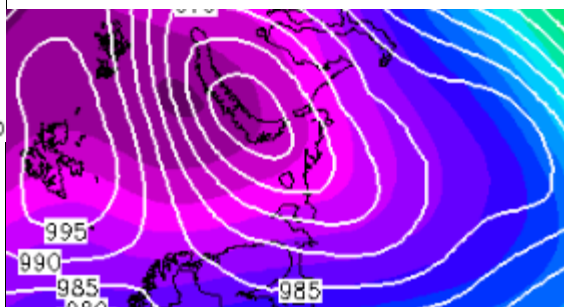


Рисунок 335. Циклон над югом архипелага Новая Земля 14 января 1993 года в срок 00ч UTC

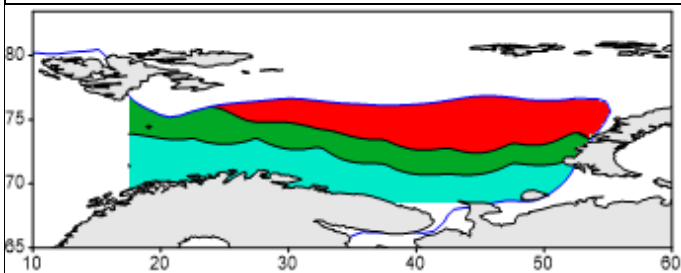


Рисунок 346. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 14 января 1993 года в срок 06ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

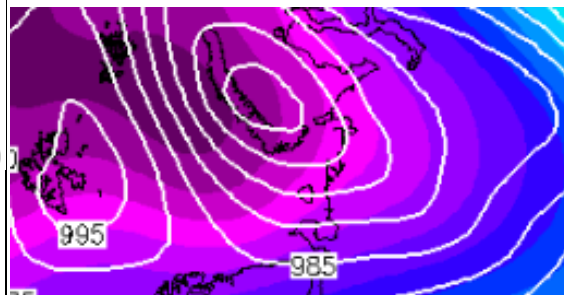


Рисунок 357. Циклон над западным районом акватории Карского моря 14 января 1993 года в срок 06ч UTC

В течение двух суток наблюдалось обледенение, представленное на рисунках выше. В момент начала срока оно покрывает северную и восточную части Баренцева моря и преимущественно по интенсивности относится к сильному (рисунок 52). Как видно по рисунку 53, расположение обледенения связано с густо проходящими изобарами и ветром, направленным с востока. Циклоническое образование в это время имеет два центра с давлениями: 955 гПа или 718 мм рт. ст., 945 гПа или 710,5 мм рт. ст., и находится в стадии максимального развития. Самое интенсивное обледенение за рассматриваемый срок представлено на рисунке 54. Здесь вся северная область моря покрывается сильным обледенением. На рисунке 55 показано расположение циклона над югом архипелага Новая Земля с давлением в центре 965 гПа или 725,6 мм рт. ст., что говорит о его переходе в стадию заполнения. Через шесть часов, то есть к моменту окончания, обледенением покрыта вся акватория Баренцева моря. Сильное обледенение располагается на северной и северо-восточной частях (рисунок 56).

#### 4.2.2. Максимальное давление в центре антициклона

В случае с давлением в центре антициклонов, то насчитывается пять случаев с максимальным значением (1045 гПа или 785,7 мм рт. ст.). На рисунках ниже рассматривается три временных периода: 7 марта 1981 года в срок 06ч UTC – 11 марта 1981 года в срок 12ч UTC, 27 марта 1984 года в срок 18ч UTC – 30 марта 1984 года в срок 12ч UTC и 28 марта 1998 года в срок 06ч UTC – 31 марта 1998 года в срок 18ч UTC.

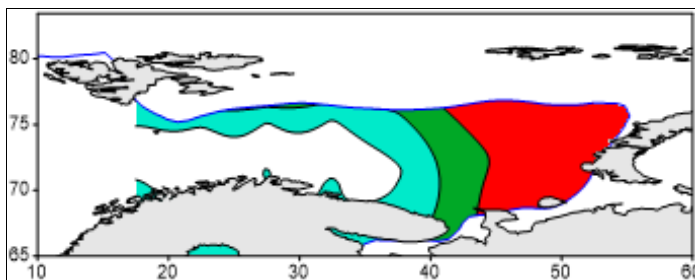


Рисунок 368. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 7 марта 1981 года в срок 06ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

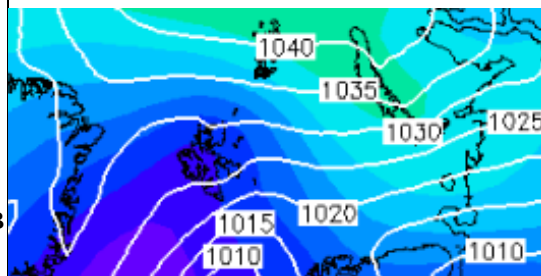


Рисунок 379. Антициклон в районе Северного Ледовитого океана 7 марта 1981 года в срок 06ч UTC

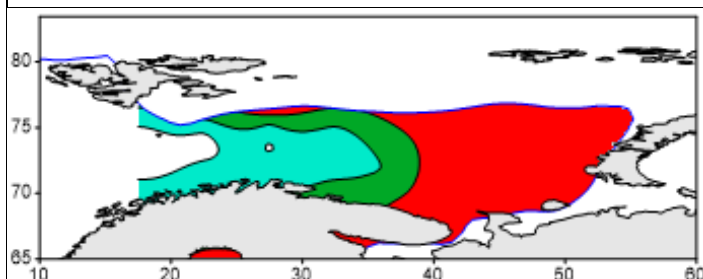


Рисунок 60. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 10 марта 1981 года в срок 00ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

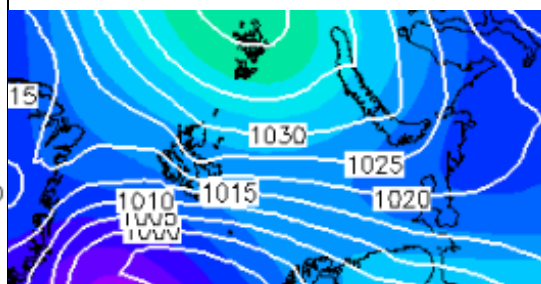


Рисунок 6138. Антициклон с центром над Северным Ледовитым океаном 10 марта 1981 года в срок 00ч UTC

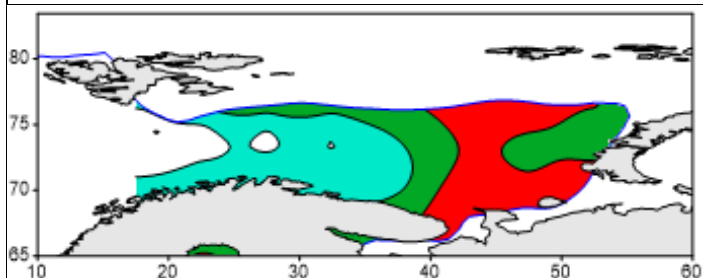


Рисунок 62. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 11 марта 1981 года в срок 12ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

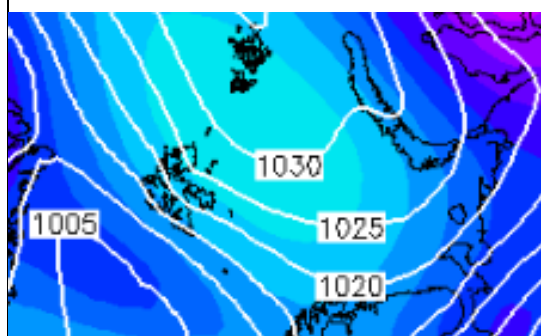


Рисунок 63. Антициклон над Северным Ледовитым океаном 11 марта 1981 года в срок 12ч UTC

При антициклоне сильное обледенение в Баренцевом море располагается на его восточной части в представленный срок, продлившийся

пять суток. На рисунке 58 обледенением занято около 60% моря. Сильное обледенение, если обратиться к рисунку 59, связано с положением области повышенного давления и северо-восточным ветром. 10 марта 1981 года в срок 00ч UTC вся восточная половина Баренцева моря была занята сильным обледенением. Площадь сильного обледенения наполовину сократилась к концу обледенения, но осталась находится в восточной части Баренцева моря (рисунок 62). На рисунке 63 представлен антициклон с большим расстоянием между соседними изобарами, чем в предыдущие сроки, из чего следует и уменьшение скорости северного ветра. Антициклон, представленный на синоптических картах (рисунки 59, 61 и 63), квазистационарный с центром в районе Северного Ледовитого океана севернее архипелага Земля Франца-Иосифа.

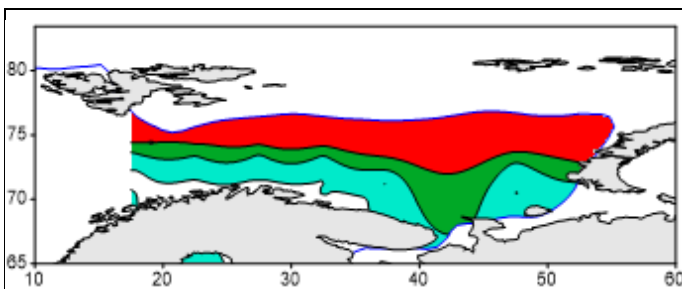


Рисунок 394. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 27 марта 1984 года в срок 18ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

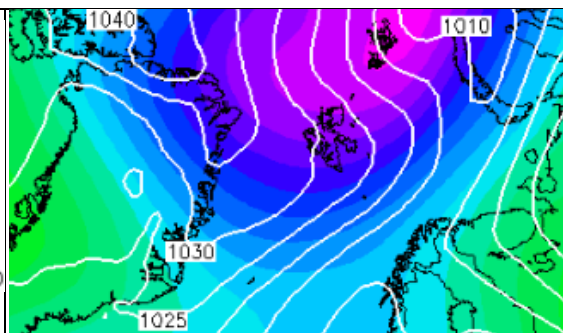


Рисунок 405. Антициклон с центром над северным побережьем острова Гренландия и гребнем над северо-западным районом Баренцева моря 27 марта 1984 года в срок 18ч UTC

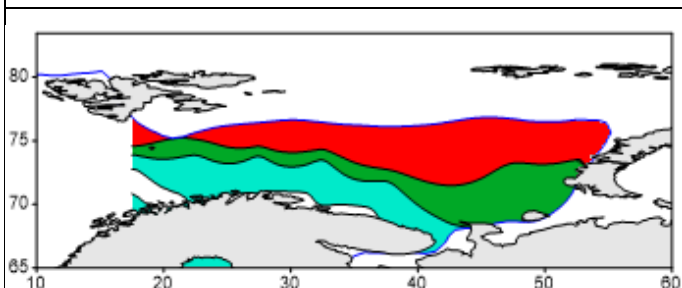


Рисунок 416. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 29 марта 1984 года в срок 18ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

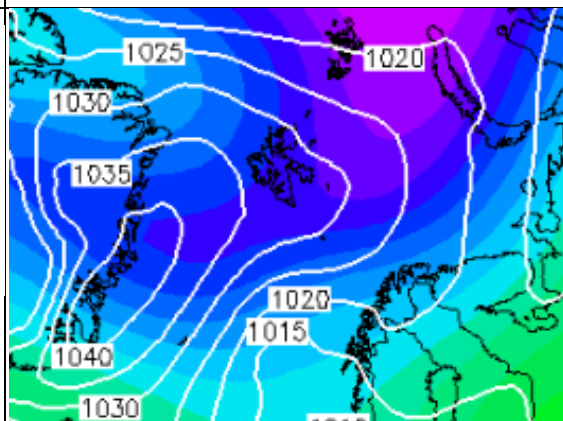


Рисунок 427. Антициклон над западной частью Гренландского моря 29 марта 1984 года в срок 18ч UTC

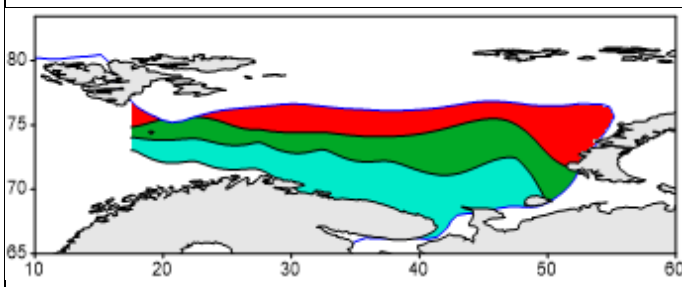


Рисунок 438. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 30 марта 1984 года в срок 12ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

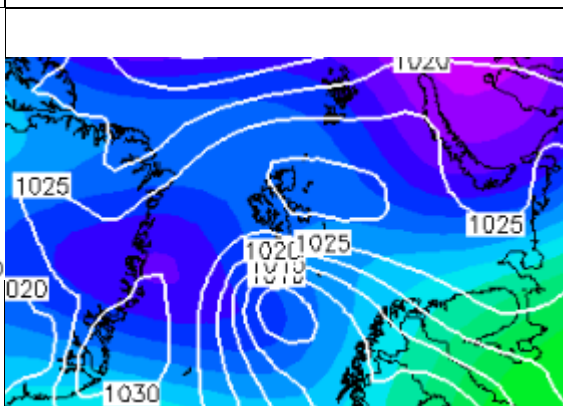


Рисунок 449. Антициклон над юго-западной частью Гренландского моря 30 марта 1984 года в срок 12ч UTC

27 марта 1984 года в срок 18ч UTC сильное обледенение занимало всю северную область моря (рисунок 64), что связано с гребнем антициклона над северо-западным районом Баренцева моря (рисунок 65). В случае с самым интенсивным обледенением (рисунок 66) прослеживается аналогичная связь с гребнем антициклона, представленным на синоптической карте (рисунок 67). В данный срок сильное обледенение занимает более обширную северную территорию Баренцева моря. Центр антициклонического образования сместился на юго-восток к западному берегу острова Гренландия, а давление в центре составляло 1040 гПа (781,9 мм рт. ст.). На рисунке 68 обледенение заметно уменьшилось по интенсивности по сравнению с началом срока. Но наиболее опасное сильное обледенение по-прежнему находится на северной части Баренцева моря. На это влияет ветер, дующий с высоких широт, то есть с Арктики (рисунок 69). Обледенение в представленный срок в сумме продлилось в течение трех дней.



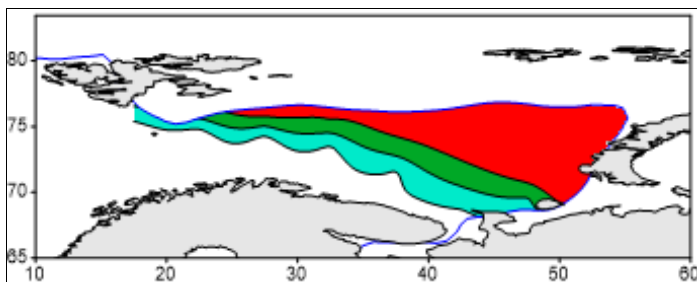


Рисунок 7045. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 28 марта 1998 года в срок 06ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

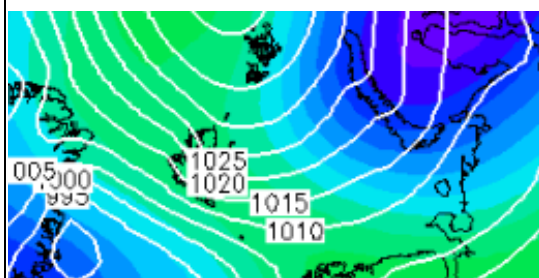


Рисунок 71. Антициклон над Северным Ледовитым океаном 28 марта 1998 года в срок 06ч UTC

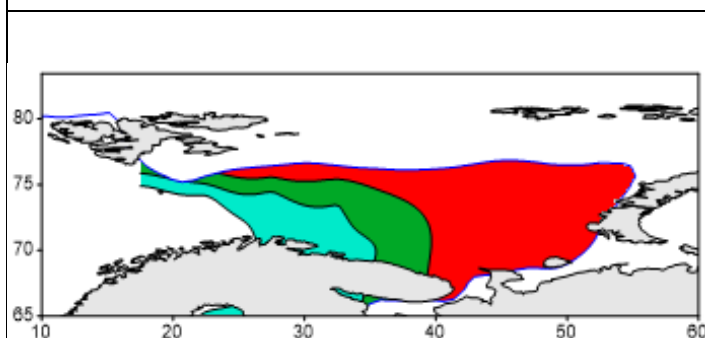


Рисунок 72. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 29 марта 1998 года в срок 00ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

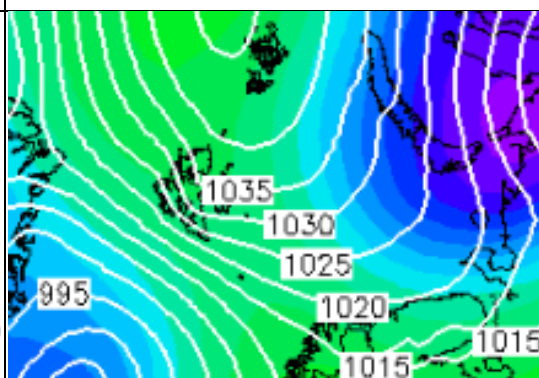


Рисунок 463. Антициклон с центром над Северным Ледовитым океаном и гребнем над Баренцевым морем 29 марта 1998 года в срок 00ч UTC

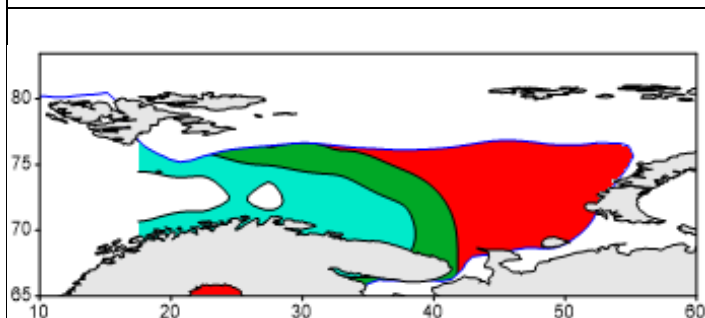


Рисунок 474. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 31 марта 1998 года в срок 18ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

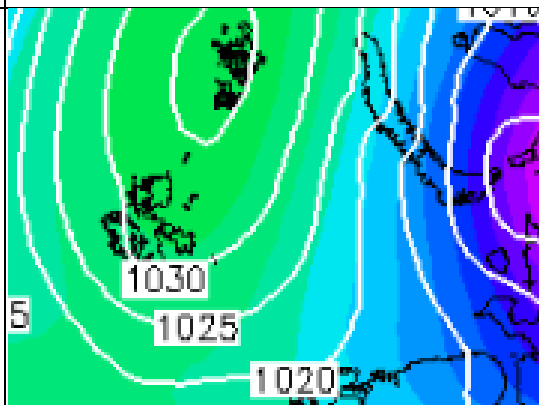


Рисунок 485. Антициклон с центром над архипелагом Земля Франца-Иосифа 31 марта 1998 года в срок 18ч UTC



По рисункам 70 и 71 видно, что сильное обледенение располагается в северо-восточном районе Баренцева моря и связано, главным образом, с северо-восточным ветром, дующим на периферии антициклона. Восточная половина и северная часть акватории моря охвачены сильным обледенением (рисунок 72). Антициклоническое барическое образование находится в стадии максимального развития с наибольшим давлением в центре, равным 1045 гПа (785,7 мм рт. ст.), что представлено на рисунке 73. Гребень антициклона простирается с севера на юг всего Баренцева моря. Таким образом, ветер преимущественно северо-восточного направления с малой скоростью. Площадь обледенения к 31 марта 1998 года 18ч UTC увеличивается, а сильным обледенением занята лишь восточная часть Баренцева моря (рисунок 74). В этот срок также наблюдается северо-восточный ветер с Арктического региона, определенный антициклоном (рисунок 75).

#### 4.2.3. Наибольшая продолжительность интенсивного обледенения в Баренцевом море

Самая большая продолжительность из всех выделенных случаев обледенения в Баренцевом море составляет семь суток. Начало обледенения пришлось на 15 января 1966 года в срок 12ч UTC, а конец – на 21 января 1966 года в срок 00ч UTC. Также ниже рассматривается срок с наиболее интенсивным обледенением, оно наблюдалось 19 января 1966 года в срок 00ч UTC.

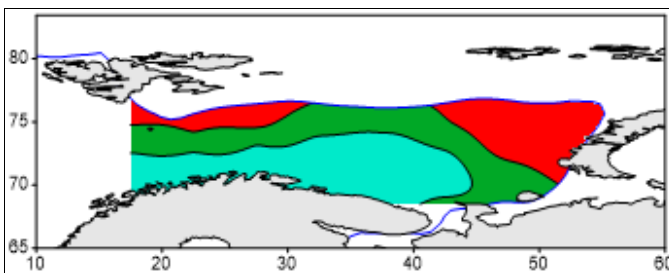


Рисунок 496. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 15 января 1966 года в срок 12ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

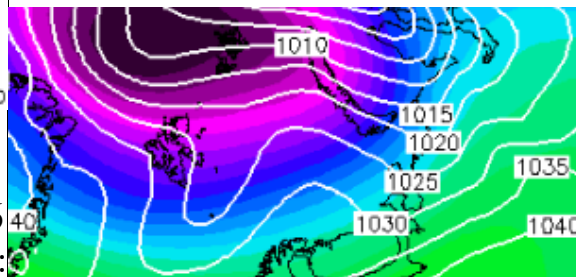


Рисунок 507. Циклон в районе Северного Ледовитого океана 15 января 1966 года в срок 12ч UTC

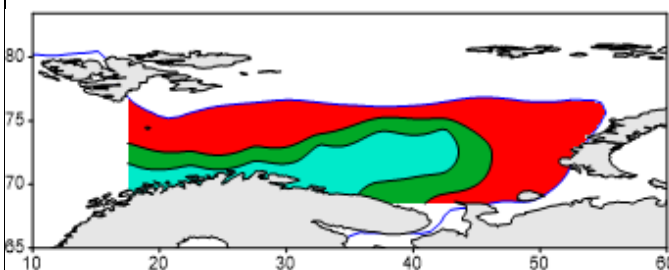


Рисунок 518. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 19 января 1966 года в срок 00ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

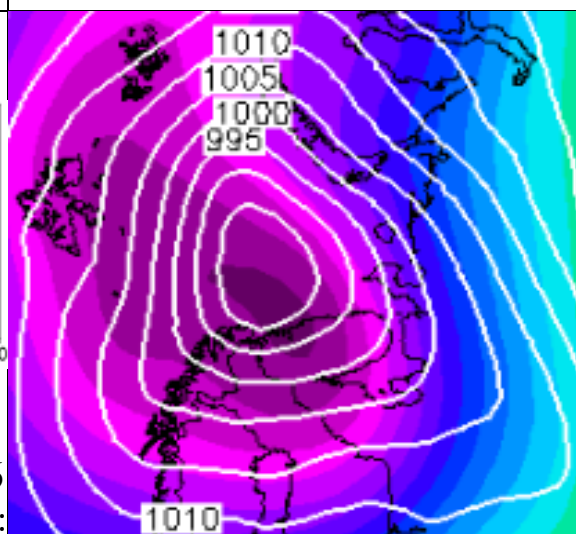


Рисунок 529. Циклон над Баренцевым морем 19 января 1966 года в срок 00ч UTC

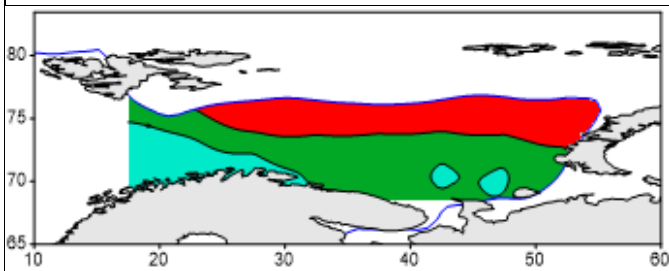


Рисунок 80. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 21 января 1966 года в срок 00ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

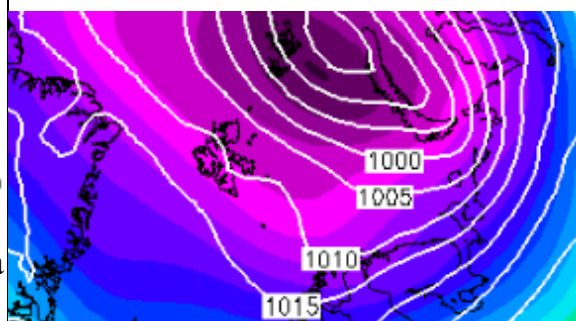


Рисунок 8153. Циклон с центром над северо-восточной частью Баренцева моря 21 января 1966 года в срок 00ч UTC

В течение всех семи суток обледенением была покрыта вся площадь акватории Баренцева моря. Опасное сильное обледенение началось на северо-западе и северо-востоке моря (рисунок 76). Это обуславливалось северным и северо-западным ветром. Центр циклона располагался в районе Северного Ледовитого океана севернее Карского моря (рисунок 77). В момент интенсивного обледенения сильным обледенением занята большая часть Баренцева моря (рисунок 78). Видно, что над областью, покрытой легким и умеренным обледенением, находится центр циклонического барического образования с давлением 985 гПа или 740,6 мм рт. ст. (рисунок 79). Сильное обледенение определяется тыловой и периферийной частями циклона. В последний срок умеренным и сильным обледенением занято 90% Баренцева моря, располагающиеся на севере и востоке (рисунок 80). Циклон находится над северо-восточной частью Баренцева моря и расположение обледенения объясняется его тыловой частью (рисунок 81).

#### 4.2.4. Наименьшая продолжительность обледенения

Одни сутки – это наименьшая продолжительность обледенения в акватории Баренцева моря. На протяжении данного времени обледенение продолжалось в шести случаях. 26 января 1950 года с 00ч UTC по 18ч UTC и с 25 марта 1985 года 12ч UTC по 26 марта 06ч UTC в Баренцевом море продолжалось обледенение, на которое оказывали влияние циклонические барические образования.

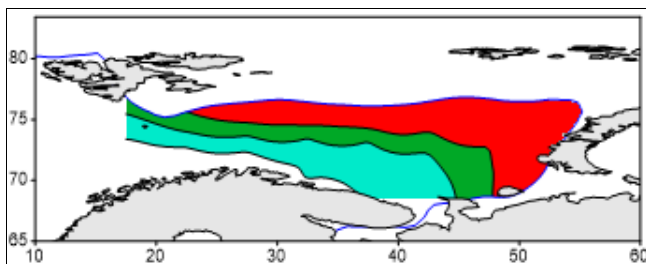


Рисунок 82. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 26 января 1950 года в срок 00ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

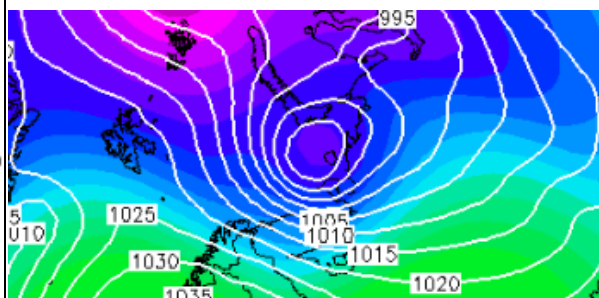


Рисунок 543. Циклон с центром над юго-восточным районом акватории Баренцева моря 26 января 1950 года в срок 00ч UTC

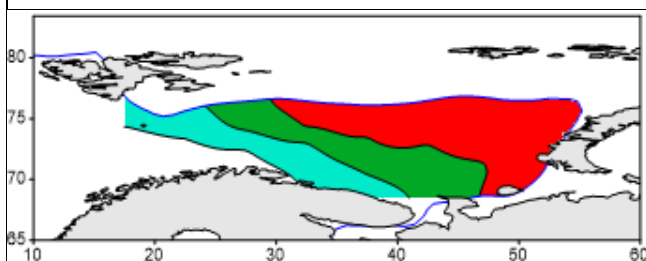


Рисунок 554. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 26 января 1950 года в срок 12ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

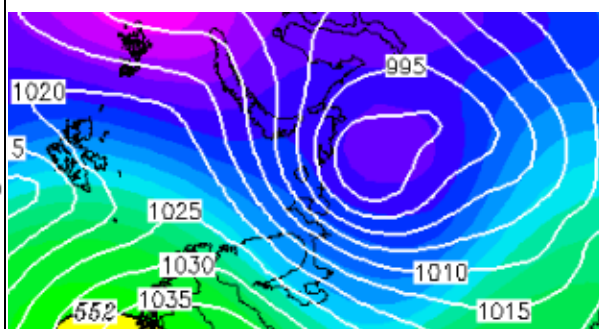


Рисунок 565. Циклон над северо-восточной частью Европейской территории России 26 января 1950 года в срок 12ч UTC

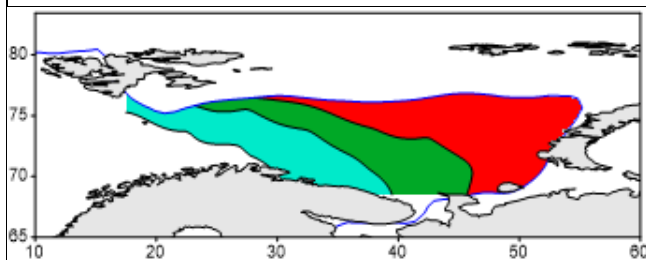


Рисунок 576. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 26 января 1950 года в срок 18ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

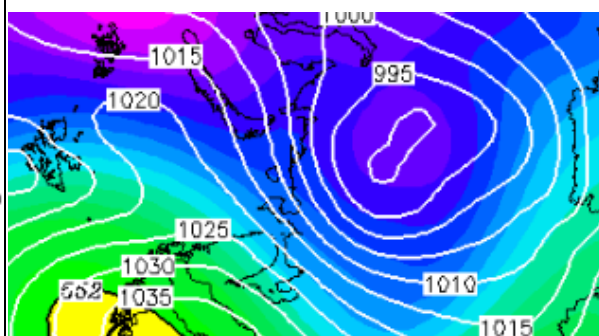


Рисунок 587. Циклон с центром над северо-западом азиатской части Евразии 26 января 1950 года в срок 18ч UTC

Оказывает влияние на обледенение в Баренцевом море в представленный срок тыловая часть циклона. Он является атлантическим, образовавшимся в ложбине соседнего циклона. К началу обледенения циклон находится в стадии максимального развития над юго-восточным районом Баренцева моря (рисунок 83). Сильное обледенение покрывает его северную восточную части (рисунок 82). С водной поверхности циклоническое образование заходит на сушу (рисунок 85), а обледенение увеличивает свою площадь и остается на северо-восточной области Баренцева моря (рисунок 84). Циклон постепенно заполняется, что представлено на рисунке 87. На рисунке 86 показана площадь обледенения в последний срок.

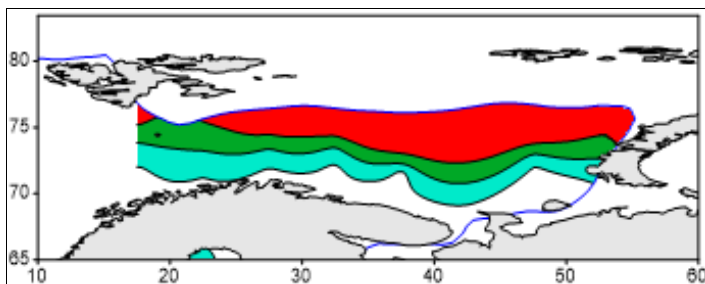


Рисунок 598. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 25 марта 1985 года в срок 12ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

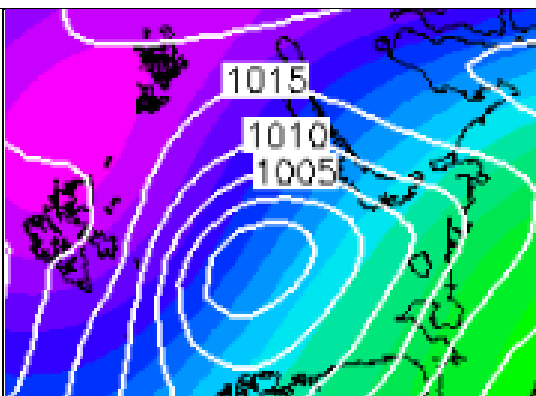


Рисунок 609. Циклон над Баренцевым морем 25 марта 1985 года в срок 12ч UTC

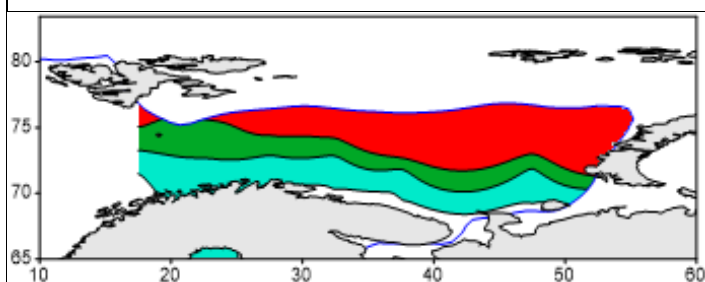


Рисунок 90. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 26 марта 1985 года в срок 00ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

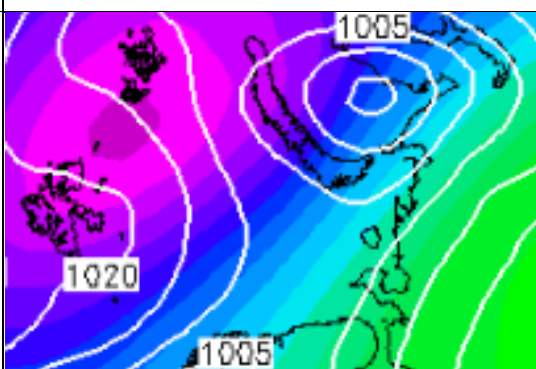


Рисунок 91. Циклон с центром над юго-восточной частью Карского моря 26 марта 1985 года в срок 00ч UTC

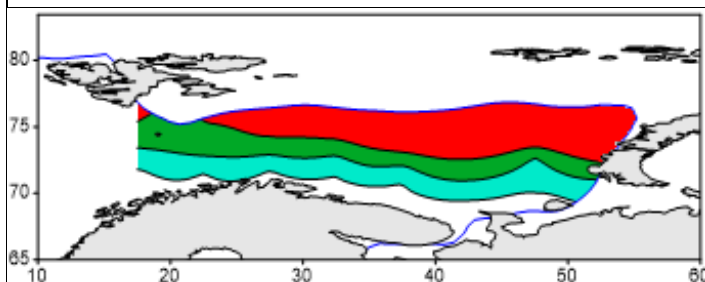


Рисунок 92. Обледенение морских судов в Баренцевом море по значениям индекса обледенения *PPR* 26 марта 1985 года в срок 06ч UTC (цветом обозначены: голубой – *PPR* от 0 до 22.4, зеленый – *PPR* от 22.4 до 53.3, красный – *PPR* больше 53.3)

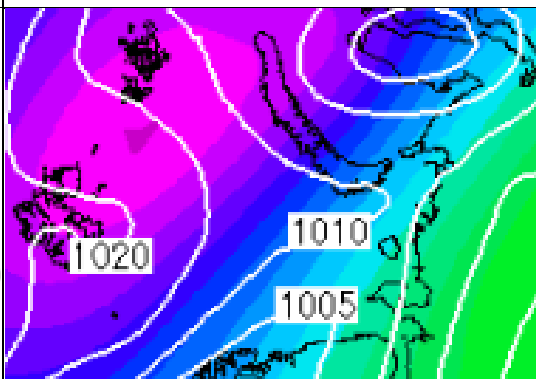


Рисунок 93. Циклон с центром над полуостровом Ямал 26 марта 1985 года в срок 06ч UTC

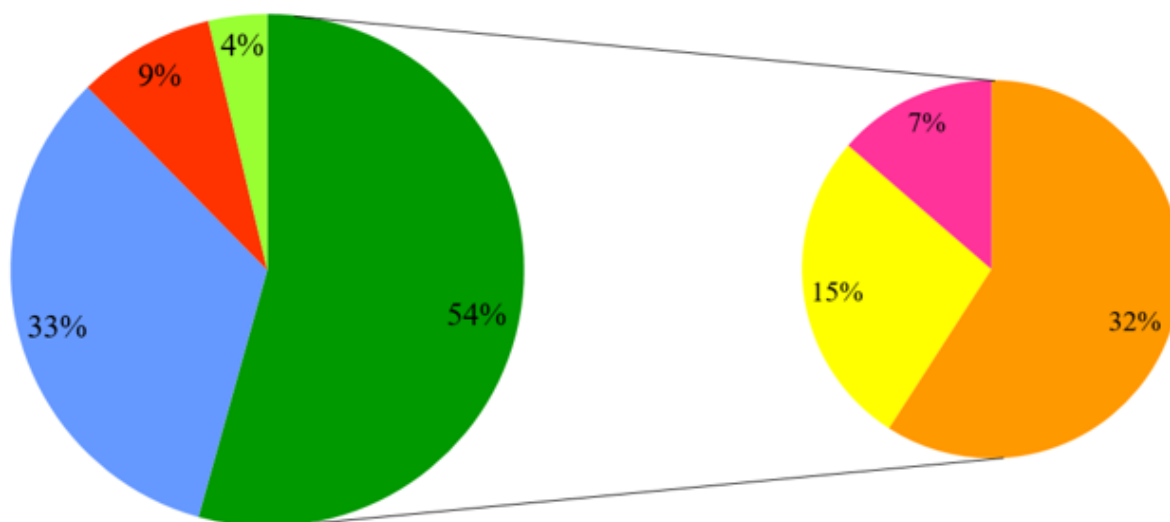
В этот срок обледенение определяется неглубоким циклоном с минимальным давлением 995 гПа (748,1 мм рт. ст.). Областью возникновения

циклона стала западная часть Баренцева моря. 25 марта 1985 года в срок 12ч UTC преобладало сильное обледенение на севере моря (рисунок 88). Циклоническое образование в это время находится над центральной областью Баренцева моря, в которой наблюдается легкое обледенение или вовсе отсутствует (рисунок 89). В момент расположения циклона над юго-восточной частью Карского моря (рисунок 91) сильное обледенение размещается на северо-восточной областью Баренцева моря (рисунок 90). Такая интенсивность определяется северными потоками воздуха. К конечному сроку площадь обледенения уменьшилась, но сохранила свою зональность на северной половине акватории моря (рисунок 92). Циклон смещается центром к полуострову Ямал, а над Баренцевым морем господствует гребень антициклона (рисунок 93).

#### 4.3. Графическое представление результатов работы

Далее представлены построенные круговая диаграмма процентного соотношения выделенных типов барических образований и две гистограммы для градаций давления и градаций продолжительности.





- 1. Циклон в стадии максимального развития и заполнения
- 2. Молодой циклон, сформировавшийся в районе Баренцева моря
- 3. Периферия антициклона
- 4. Циклон в стадии максимального развития, пришедший с острова Гренландия
- 1.1. Вся область циклона
- 1.2. Тыловая часть циклона
- 1.3. Периферия циклона

Рисунок 614. Круговая диаграмма типов синоптических ситуаций, оказывающих влияние на обледенение в Баренцевом море

На круговой диаграмме, изображенной на рисунке 94, представлены все выделенные в ходе работы типы синоптических ситуаций в процентном соотношении. Так, преобладающими типами стали циклон в стадии максимального развития и заполнения и молодой циклон, сформировавшийся в районе Баренцева моря. Их соотношения ко всем типам равны 54% и 33% соответственно. Самый частый тип синоптической ситуации представлен тремя подтипами, из которых 32% занимает вся область циклона, влияющая на интенсивность обледенения. Самую малую долю, равную 4%, занимает тип циклонического барического образования в стадии максимального развития, пришедшего с острова Гренландия.

## 1. Анализ интенсивности циклонов по градациям давления в центре

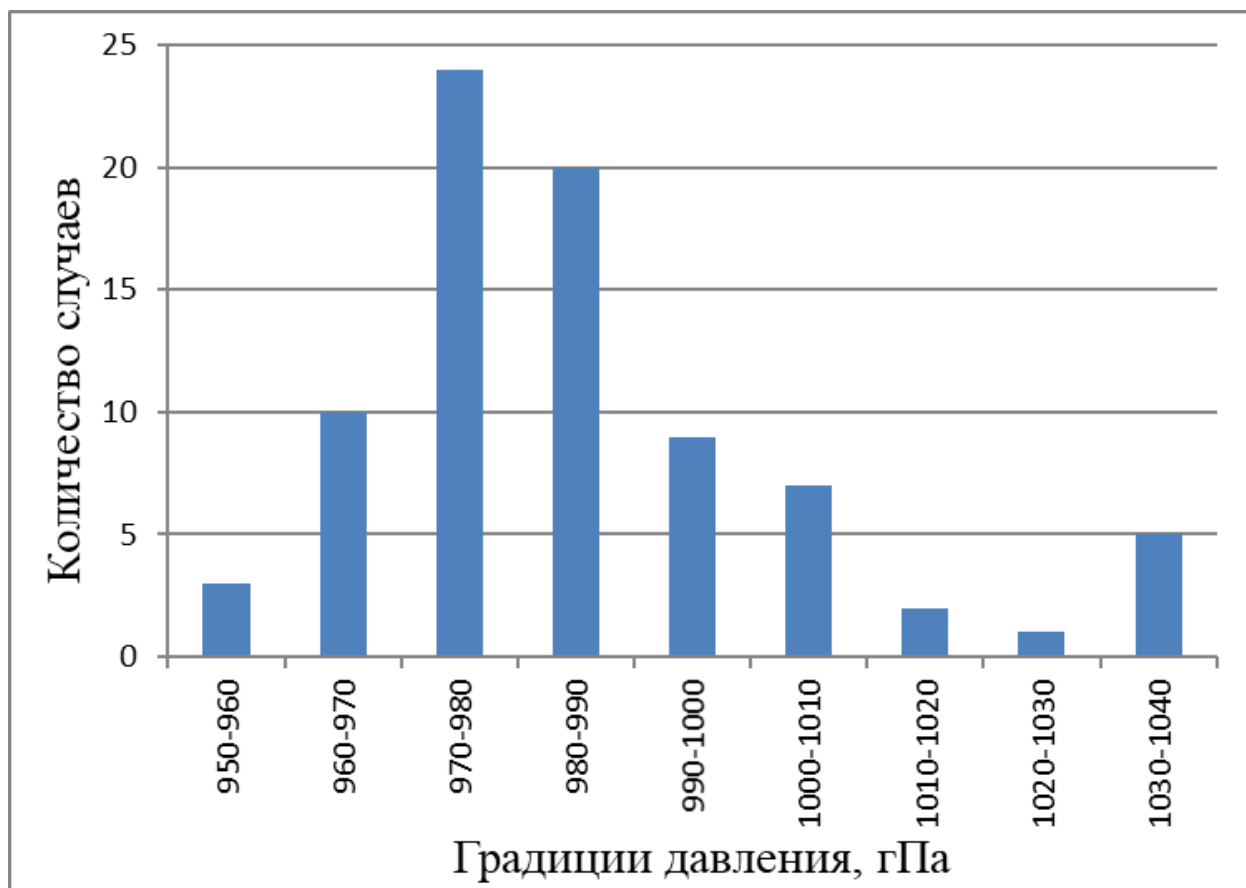


Рисунок 625. Количество случаев с сильным обледенением по градациям давления в центре барических образований

На гистограмме проанализирована интенсивность циклонов, вызывающих интенсивное обледенение (рисунок 95). Градация значений давления сделана через 5 гПа. По гистограмме видно, что чаще всего интенсивное обледенение связано с глубокими циклонами с давлением в центре от 970 до 980 гПа. Таких случаев насчитывается 24. Менее повторялось интенсивное обледенение в Баренцевом море при циклонических образованиях меньшей интенсивности при градации давления 980-990 гПа. Этих случаев оказалось 20. Также отмечены случаи с высоким давлением 1030-1040 гПа. Здесь сильное обледенение отмечалось в гребне антициклонов. К ним относится 5 случаев.

## 2. Анализ продолжительности сильного обледенения на рассматриваемой территории

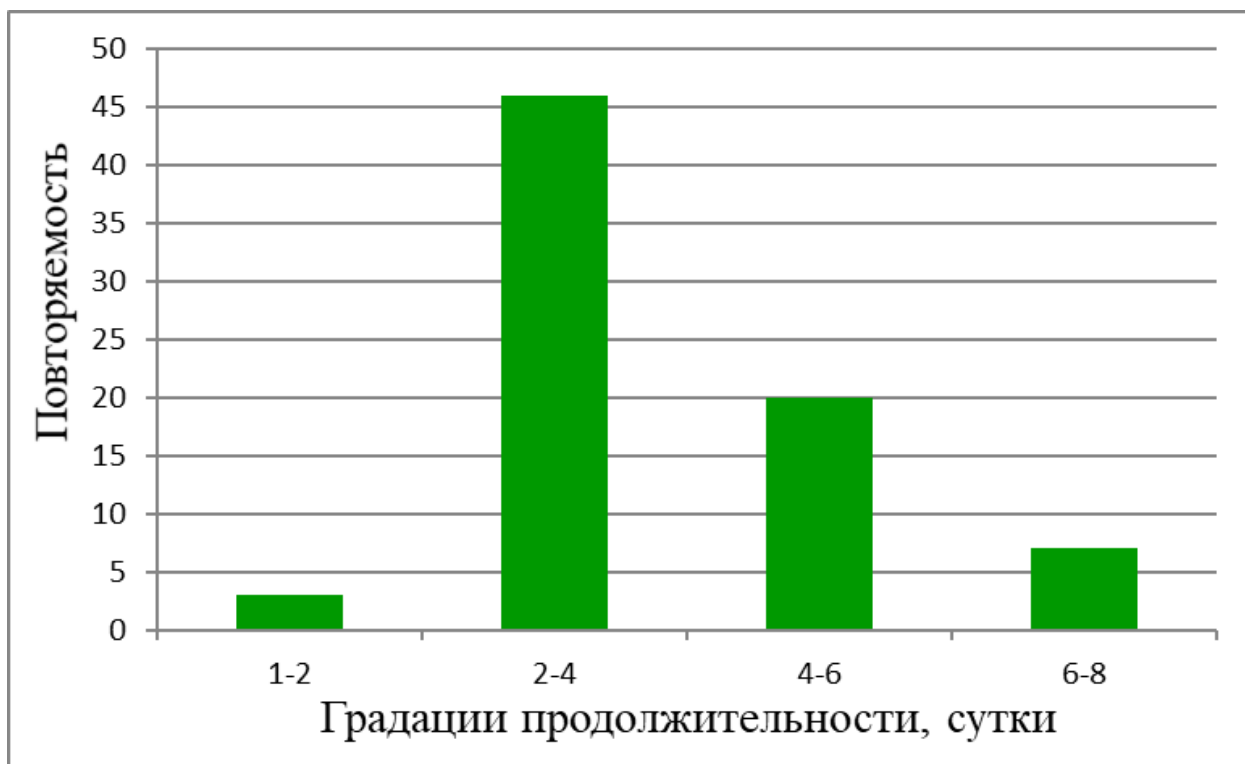


Рисунок 636. Продолжительность сильного обледенения по градациям, сутки

На рисунке 96 представлена гистограмма, по горизонтальной оси которой рассматриваются градации продолжительности в сутках, а по вертикальной – повторяемость. Наиболее часто в Баренцевом море наблюдалось сильное обледенение, продолжающееся в течение двух-четырех суток. Случаев с такой градацией насчитывается 46. 20 случаев отмечалось с продолжительностью от четырех до шести дней. Случаи с наибольшей продолжительностью, то есть в шесть или семь дней, повторялись 7 раз. Реже всего сильное обледенение наблюдалось на протяжении одного-двух дней и насчитывается 3 случая.

Также стоит отметить, что случаи с сильным обледенением наблюдаются с декабря по март и в 95% случаев – с января по март.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленная в начале данной работы цель, заключающаяся в исследовании синоптических ситуаций, при которых наблюдается интенсивное обледенение морских судов в Баренцевом море, была полностью достигнута в ходе выполнения работы.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. Была выполнена типизация и анализ синоптических ситуаций для случаев с интенсивным и продолжительным обледенением морских судов в районе Баренцева моря.
2. Рассмотрены выделенные типы на отдельных примерах.
3. Была проанализирована интенсивность циклонов по градиентам давления в центре.
4. Проанализирована продолжительность сильного обледенения на рассматриваемой территории.

По итогам полученных результатов были сформулированы следующие выводы:

1. Чаще всего на обледенение влияли западный циклон в стадии максимального развития и заполнения (54%) и молодой циклон, который сформировался в районе Баренцева моря (33%). В случае первого интенсивное обледенение отмечалось при влиянии всей области циклона за исключением центра. Реже оказывают влияние антициклонические барические образования (9%).
2. В районе центра циклона отмечается отсутствие обледенения или его малая интенсивность.
3. Преимущественно обледенение связано с глубокими циклонами с давлением в центре в диапазоне 970-980 гПа, реже – с давлением 980-990 гПа.
4. Чаще всего интенсивное обледенение в Баренцевом море отмечается с продолжительностью от двух до шести дней.

5. В 95% случаев сильное обледенение морских судов в Баренцевом море наблюдается с января по март.

Также проведенный анализ позволяет сделать вывод о необходимости проведения большего количества наблюдений за обледенением морских судов для увеличения качества прогноза.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Добротворский А.Н., Бродский П.Г., Курсин С.Б. и др. Навигация и гидрография. – Санкт-Петербург: Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт, 2011. – 116с.;
2. Качурин Д.Г., Смирнов И.А., Гашин Л.И. Обледенение судов. – Ленинград: Ленинградский гидрометеорологический институт, 1980. – 56с.;
3. Дымов В.И., Яковлева Н.П., Пасечник Т.А., Алексеев В.В. Численные методы расчета брызгового обледенения судов. – Санкт-Петербург: Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, 2012. – 8с.;
4. Условия обледенения судов: официальный сайт. – URL: <https://pogoda51.ru/5-usloviya-obledeneniya-sudov>;
5. Молодежь. Наука. Инновации.: сборник докладов; под ред. Буров Д.В., Юзов А.Д., Касич А.А. и др. – Владивосток: Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, 2019. – 357с.;
6. Алексеев Г.М. Особые случаи морской практики. – Москва: Ленинградское высшее инженерное морское училище им. Адмирала С.О. Макарова, 1959. – 338 с.;
7. J. E. Overland, C. H. Pease, R. W. Preisendorfer, and A. L. Comiskey. Prediction of Vessel Icing, 1986.;
8. Overland J. Prediction of vessel icing for near-freezing sea temperatures. – J. Weather and Climate, 1990.;
9. Обледенение: официальный сайт. – URL: [https://ozlib.com/937898/geografiya/obledenenie\\_icing](https://ozlib.com/937898/geografiya/obledenenie_icing);
10. Интересные факты о Баренцевом море: официальный сайт. – URL: <https://interessno.ru/2022/05/22/interesnye-fakty-o-barentsevom-more/>;
11. Баренцево море, краткое описание: официальный сайт. – URL: <https://global-ocean.ru/geografiya/barencevo-more-kratkoe-opisanie-i-interesnye-fakty/>;

12. Соколов А.А, Гордеева С.М. Изменение адвекции тепла в Баренцево море. – Санкт-Петербург: Российская Арктика, 2019. – 11с.;
13. Баренцево море: официальный сайт. – URL: [https://studopedia.ru/17\\_133495\\_barentsevo-more.html](https://studopedia.ru/17_133495_barentsevo-more.html);
14. Описание Баренцева моря: официальный сайт. – URL: <https://nauka.club/geografiya/barentsevo-more.html>;
15. Характеристики Баренцева моря: официальный сайт. – URL: <https://bigenc.ru/c/barentsevo-more-37b31a>;
16. Карта Баренцева моря: официальный сайт. – URL: <https://yandex.ru/images/?from=tabbar>;
17. Архив данных по температуре воздуха и скорости ветра: официальный сайт. – URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html>;
18. Архив данных по температуре воды и ее солёности: официальный сайт. – URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/world-ocean-atlas-2018/bin/woa18.pl>;
19. Архив приземных и высотных синоптических карт: официальный сайт. – URL: <https://www.wetterzentrale.de/reanalysis.php?map=1&model=noaa&var=1&jaar=2004&maand=01&dag=14&uur=0600&h=0&tr=360&nmaps=24#mapref>.