



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

Кафедра промышленной океанологии и охраны природных вод

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему « Долгопериодная изменчивость ледовитости Баренцева моря. »

Исполнитель

Щербаков Сергей Николаевич  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

кандидат географических наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)  
Густоев Дмитрий Владимирович  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой



(подпись)

кандидат физ.-мат.- наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)  
Еремина Татьяна Рэмовна  
(фамилия, имя, отчество)

«19» июль 2017 г

Санкт-Петербург  
2017



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

Кафедра промысловой океанологии и охраны природных вод

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему « Долгопериодная изменчивость ледовитости Баренцева моря. »

**Исполнитель**

Щербаков Сергей Николаевич

(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель**

кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Густоев Дмитрий Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой**

(подпись)

кандидат физ.-мат.- наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Еремина Татьяна Рэмовна

(фамилия, имя, отчество)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г

Санкт–Петербург

2017

		Стр.
	Введение	3
1	Физико - географические условия	5
1.1	Гидрологический режим	5
1.1.1	Границы и рельеф дна.	5
1.1.2	Температура воды	10
1.1.3	Солёность и водообмен	15
1.1.4	Течения	20
1.2.	Ледовый режим	24
2.	Исходные данные и методы их обработки	31
2.1.	Характеристика исходных данных	31
2.1.1	Расчет первичных характеристик временных рядов	31
2.1.2	Расчет коэффициента корреляции и его свойств	32
2.1.3	Функция спектральной плотности	33
2.1.4	Классификация временных рядов гидрометеорологических характеристик	33
3.	Межгодовая изменчивость ледовитости Баренцева моря и классификация ледовитости	35
	Заключение	46
	Список использованных источников	48

## Введение

Одним из прекраснейших морей, омывающее берега нашей страны по праву считается – Баренцево море. Его значимость для Российской Федерации заключается не только в промысловых характеристиках, но и экономических. Это одно из особенных морей Северного Ледовитого океана. Теплые атлантические воды, проникающие в Баренцево море, способствуют тому, что оно полностью не замерзает. Здесь преобладает интенсивный рыбный промысел, гидрологические изыскания.

Ледовитость – это немаловажный показатель при характеристике Баренцева моря. Он может оказывать значительное воздействие на природные процессы и на хозяйственную деятельность человека. [1]

В Баренцевом море, биопродуктивность и распространение водных биологических ресурсов больше всего зависят от степени изменения всех компонентов климатической системы: атмосфера → гидросфера → криосфера. Вместе с этим, показатель ледовитости – интегральный климатический фактор, оказывает значительное влияние на основные составляющие морские экосистемы, начиная от планктона (первичная продукция), заканчивая высшими консументами (белые медведи, касатки, тюлени). Ввиду выше сказанного исследования межгодовой изменчивости ледовитости акватории Баренцева моря, являются актуальной проблемой.

Целью работы является: Определение закономерностей в изменчивости ледовитости Баренцева моря на основании которых можно спрогнозировать эту характеристику.

Задачи: определить и рассчитать первичные статистические моменты. Выявить тенденции, рассчитать автокорреляционную функцию, определить годы аналоги в изменчивости, оценить возможность прогнозирования этой характеристики статистическими методами.

Прогноз ледовитости Баренцева моря необходим структурам занимающимся рыбным промыслом, хозяйственной деятельностью, научным и «тревожным» структурам и организациям.

## 1. Физико–географическое описание района.

### 1.1. Гидрологический режим.

#### 1.1.1. Границы и рельеф дна.

Баренцево море находится западнее всех арктических морей Российской Федерации. Оно располагается за Полярным кругом. Его границы в основном условные. Западный берег Баренцева моря расположен на границе с Норвежским морем, проходящей по линии: мыса Южный (южный край Шпицбергена) – острова Медвежий – мыса Нордкап, восточный берег – с Карским морем от мыса Кользат до мыса Желания, а далее по южным проливам Новой земли. Южный берег Баренцева моря, границей которого служит берег материка и линия мыса Святой Нос, которая отделяет его от Белого моря. Северная граница лежит вдоль северной окраины островов Земли Франца – Иосифа, далее от Земли Александры через острова Белый и Виктория к острову Северо – Восточного района Шпицбергена. Печерским морем считают Юго – восточную часть Баренцева моря. Которая находится между островом Колгуев и юго-западным берегом Новой Земли. Граница Баренцева моря проходит между параллельными линиями  $81^{\circ}52'$  и  $66^{\circ}44'$  северных широт и между меридианами  $16^{\circ}30'$  и  $68^{\circ}32'$  восточной долготы. Это море относится к типу окраинных морей материковых.

В основном оно расположено на Северо – Европейском шельфе, которое открытое к центральной части Арктики и к морям Гренландскому и Норвежскому. Оно одно из самых больших размеров морей нашей страны. Площадь равняется 1 млн. 424 тыс/км<sup>2</sup>, объём приравнивается к 316 тыс. км<sup>3</sup>, глубина в среднем составляла 222 м, но максимально допустимая глубина достигает 600 м.

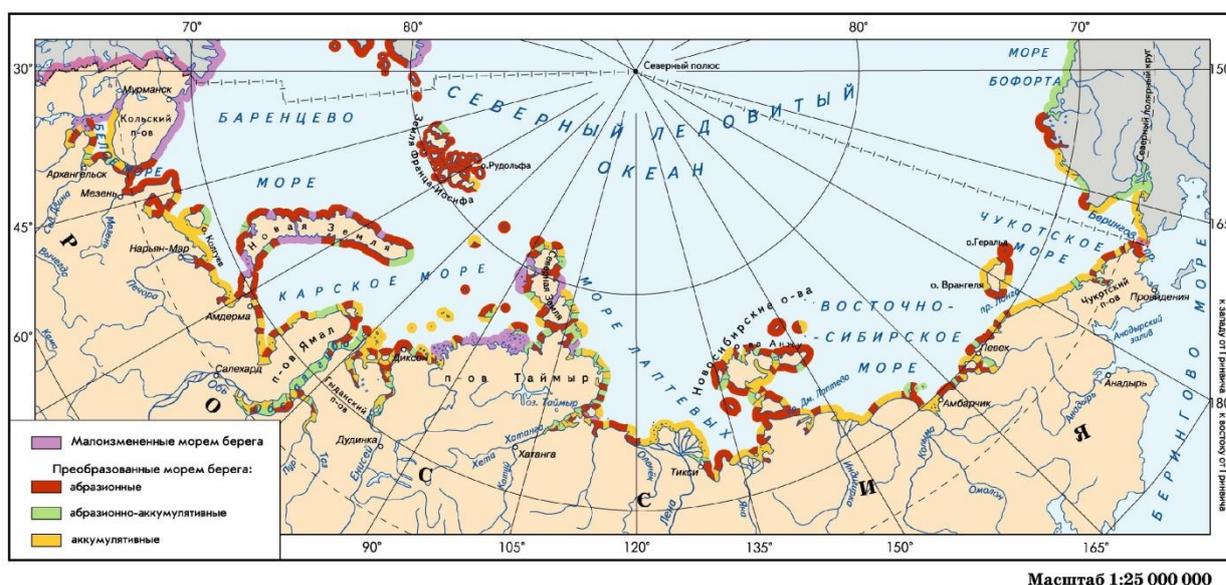
Большую часть в Баренцевом море занимают острова. В их число входят наикрупнейшие полярные архипелаги, самые известные из них такие как: Шпицберген и Земля Франца – Иосифа, а также острова Колгуев, Новая

Земля, Медвежий и другие. В основном небольшие острова объединены в архипелаги, которые располагаются вблизи материка или более крупных островов, например: Горбовы, Крестовые, Гуляевы Кошки и прочие. Как видно из предложенного выше материала значительное число островов, а также их расположение – является одной из географических особенностей. Береговая линия моря, состоит из большого количества заливов, мысов, фьрдов и бухт. Такое строение образовалось из-за сложной расчлененности береговой линии (Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Береговая линия Баренцева моря

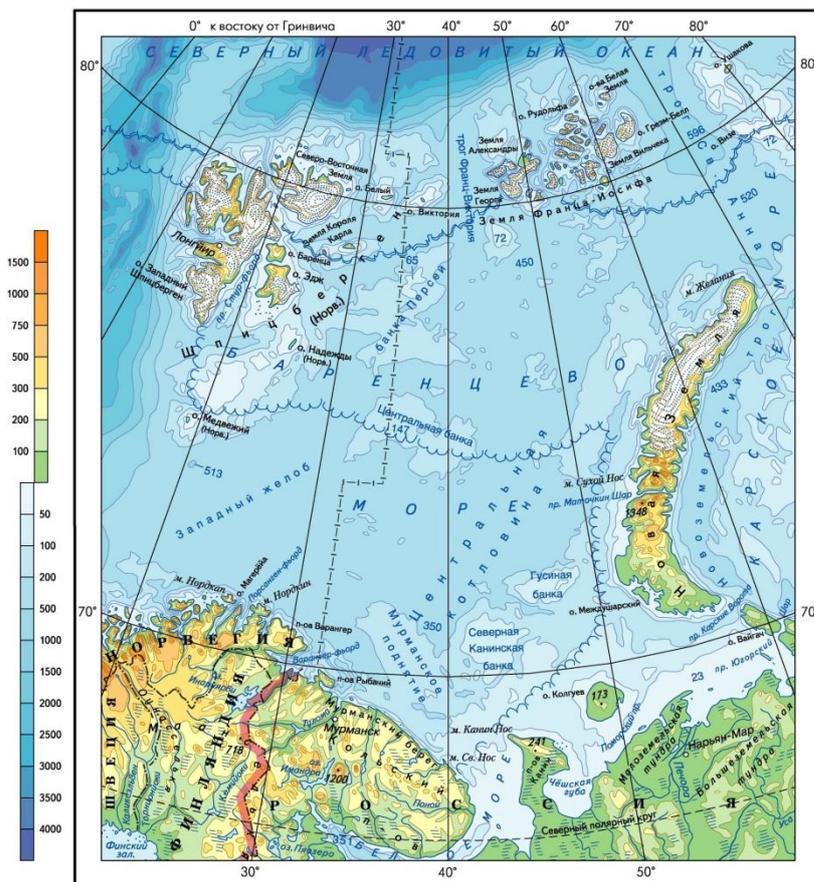
Абразионные берега преобладают в Баренцевом море, но так же можно встретить и ледяные аккумулятивные. Пологие низменные берега характерны для моря в юго–восточной части. Побережье Новой Земли на западе холмистое и низкое. В северной части острова, близко к морю подходят ледники. Некоторые из них стекают прямо в море. Похожие берега повторяются на островах, на таких как Земля Франца – Иосифа и на северо-восточном архипелаге Шпицбергена (Рисунок 1.2).



Масштаб 1:25 000 000

Рисунок 1.2. Абразионные и аккумулятивные Берега Баренцева моря

Подводная равнина Баренцева моря, сложно раздробленная с волнистой поверхностью, немного покатая к северо-востоку и западу (Рисунок 1.3). Максимальные глубины и наиболее глубокие районы моря, находятся в западной части.



Масштаб 1:12 500 000

Рисунок 1.3 – Подводная равнина Баренцева моря

Из этого весьма очевидно, что море отличается неравномерными распределениями глубин. При средней глубине моря 186 м разность глубины в открытой части примерно достигает до 400 м. Многие ученые такие как Н.Н.Зубов приходили к мнению о том, что Баренцево море является примером того, как рельеф дна влияет на гидрологические процессы, которые протекают в море.

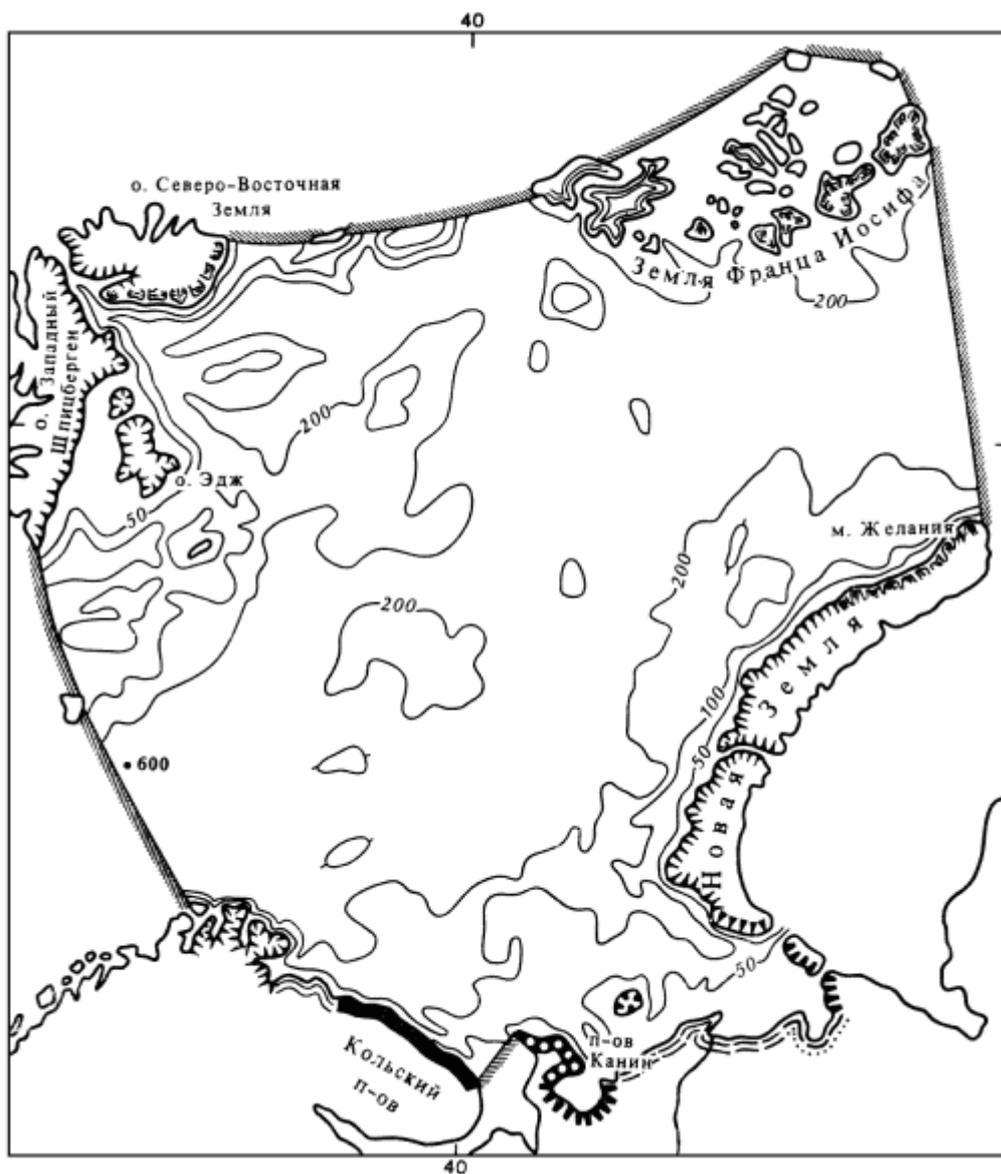


Рисунок 1.4. – Типы берегов и рельеф дна Баренцева моря.

Волнистая поверхность подводной равнины, как-то косо выглядит к западу и северо-востоку (см. рис. 1.4.). Максимальные глубины и самые глубокие районы, находятся на западе акватории.

Теплые воды Атлантики, не позволяет воде остывать до температуры замерзания. Служат индивидуальным препятствием для льдов. В результате слабого течения из Карского моря в Баренцево, прибывание льда маленький. происходит наблюдение льдов регионального появления. Одногодичные

льды, появляются осенью и зимой, а весной и летом тают. Лишь на крайнем севере куда спускаются отроги ледяного массива, встречаются старые льды.

Ледовитость появляется в сентябре на севере. Центральный район в октябре и юго-восток. Большое распространение льда встречается в апреле. Этот месяц удивил своим покрытием площадью до 75%. Слой местного льда не превышает 0,7—1,0 м. Толстый лёд встречается до 150 см в районе мыса Желания.

Весной и летом годовалый лёд тает очень быстро. Юго-восточный и южный район освобождаются в мае. Под конец лета, море полностью остаётся без льда. Исключением будут районы, прилегающие к восточному берегу Шпицбергена, Новой Земле, к Земле Франца-Иосифа. Ледовое положение Баренцева моря меняется из года в год, что показывает различную интенсивность Нордкапского течения, основные черты значительной воздушным круговоротом, глобальным потеплением или похолоданием Арктики.

### 1.1.2. Температура воды

Измеряемая температура воды в Баренцевом море в значительной степени больше, чем в других морях Арктики определяет все развития, объединенные с плотной структурой воды (перемещение, конвекция и другое). Кроме того, температура воды является главным показателем, характеризующим распределение теплых атлантических вод, которое в свою очередь, определяет ледовые условия и климат Арктики. Температурный режим Баренцева моря возникавший под действием процесса, из которого ведёт осене - зимнее перемещение, сглаживающая температуру поверхности до дна, и прогретый летний поверхностный слой, приводящий возникновение сезонного термоклина.

Баренцево море одно из самых теплых так как идёт большой приток вод с Атлантики. Большая часть побережья до 75° северной широты целый год не

замерзает, имеет в конечном итоге плюсовые значения температуры поверхности. На юго – западе Баренцева моря под действием тепла температура заметно проявляется больше, а на юго – востоке незначительно. Вместе с тем что именно эти обстоятельства способствуют более сильному радиационному прогреву данного региона летом. Из-за этого с июля по август температура 8°C.

В верхнем бывает на юго-западе (9°C в июне-сентябре), минимальная 0°C – у края льда. С июля по октябрь высокая температура бывает также и на юго-восточной части. Положение изотерм близкие к широтному (рис. 1.5).

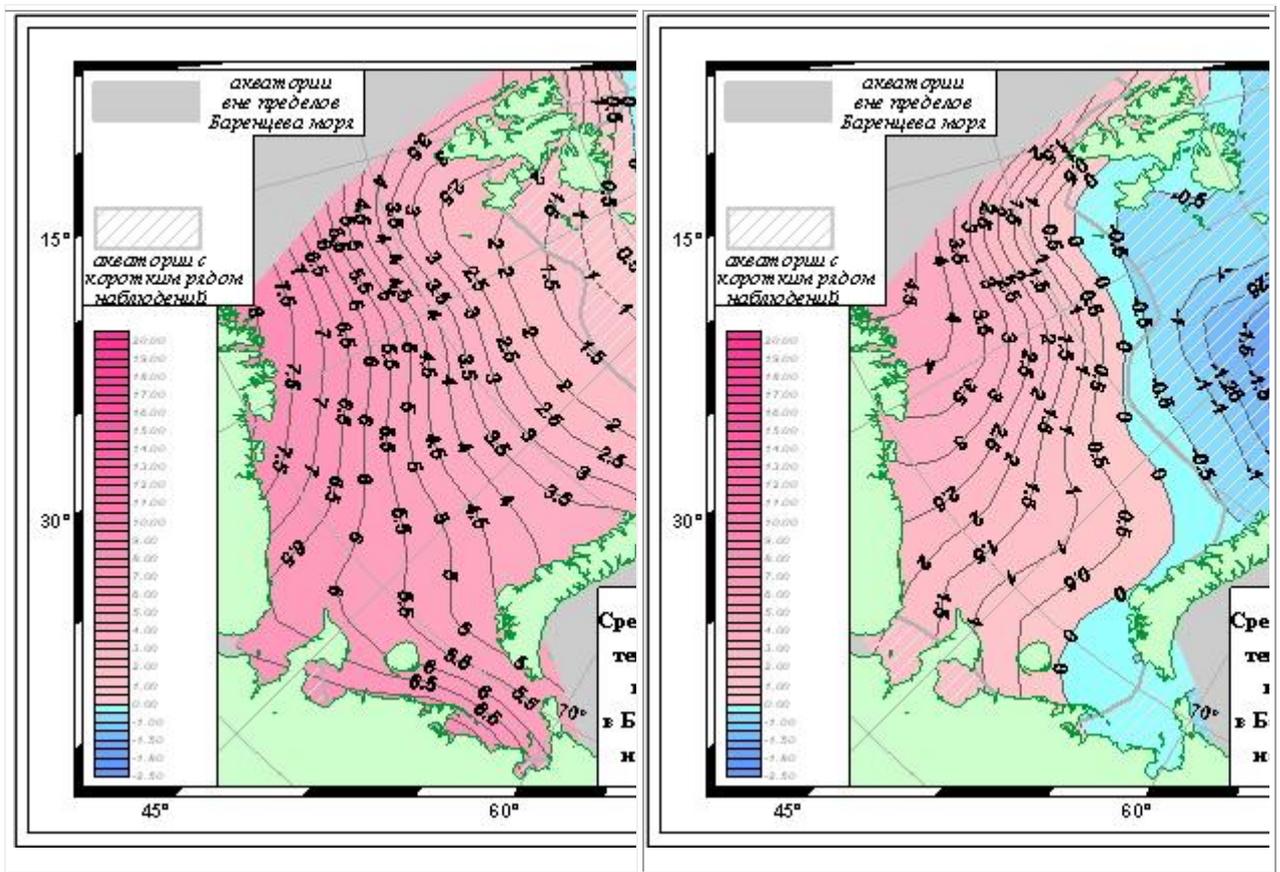


Рисунок 1.5. Среднегодовая температура воды на поверхности в летний и зимний периоды.

Изменение температуры по сезонам невелико. Юго-запад и на севере оно не превышает 5-6°C. Юго-восток достигает 10°C. Температура поверхности

юго-западе зимой не ниже  $3^{\circ}\text{C}$  и не выше  $6^{\circ}\text{C}$ , летом  $7 - 13^{\circ}\text{C}$ . Минимум равен  $-1.8^{\circ}\text{C}$ . Летом в поверхностном слое максимальные температуры достигают на северо-западе  $4-7^{\circ}\text{C}$ , на юго-востоке  $15^{\circ}\text{C}$ , в Печорской  $20-23^{\circ}\text{C}$ . С глубиной воды температуры становятся меньше. На горизонте 50 м они составляют около  $2/3$  от поверхностной величины. Летом происходит формирование сезонного термоклина, берёт начало с перехода теплового баланса к положительным значениям с августа-сентября, когда глубина достигает перемешивание в поверхностном слое и уже может повлиять термоклин. Толщина слоя и глубина верхней границы термоклина 30 м, а большие градиенты приходятся на слой 30-50 м.

Большое размещение температуры в толще воды зависит от проникновения теплых вод Атлантики, рельефа дна. Изменение температуры неодинаково.

Впадины где нет теплых вод, происходит сильное охлаждение, например Новоземельский желоб, Центральная котловина. Температура воды однородна зимой, а летом от положительных величин на поверхности снижается  $-1.75^{\circ}\text{C}$  у самого дна. Подводные бугры служат подводными камнями движению атлантических вод. На их склонах вода охлаждается быстрее. Образуются "шапки холодной воды".

На Центральной возвышенности температура воды зимой низкая от поверхности до дна. Летом температура с глубиной 50-100 м понижается. Нижний слой снова повышается, но до самого дна остается минусовой. Таким образом, здесь имеем переходный слой холодной воды. Его не размывают теплые воды Атлантического океана. С глубиной температуры изменения имеют выраженный сезонный ход.

Зимой температура воды отрицательна. Весной верхний слой прогревается, нижний резко понижается. Летом прогревание проходит быстрее, поэтому понижение температуры нижнего слоя происходит довольно резким скачком. Осенью температура охлаждения выравнивается, а к зиме становится однородной. На рисунке обозначены четыре района: Западный, северный, при новоземельский и северо-восточный (Рис. 1.6)), Идет разрушения

термоклина (с мая по ноябрь). Несмотря на значительные изменения гидрологической характеристики, выявлен ряд закономерностей: Запаздывание годового максимума, с увеличением глубины и осеннее падение температуры с ростом весной. В реальных условиях эти распределения осложняют существование суточного и синоптического термоклина. (Рис. 1.7),

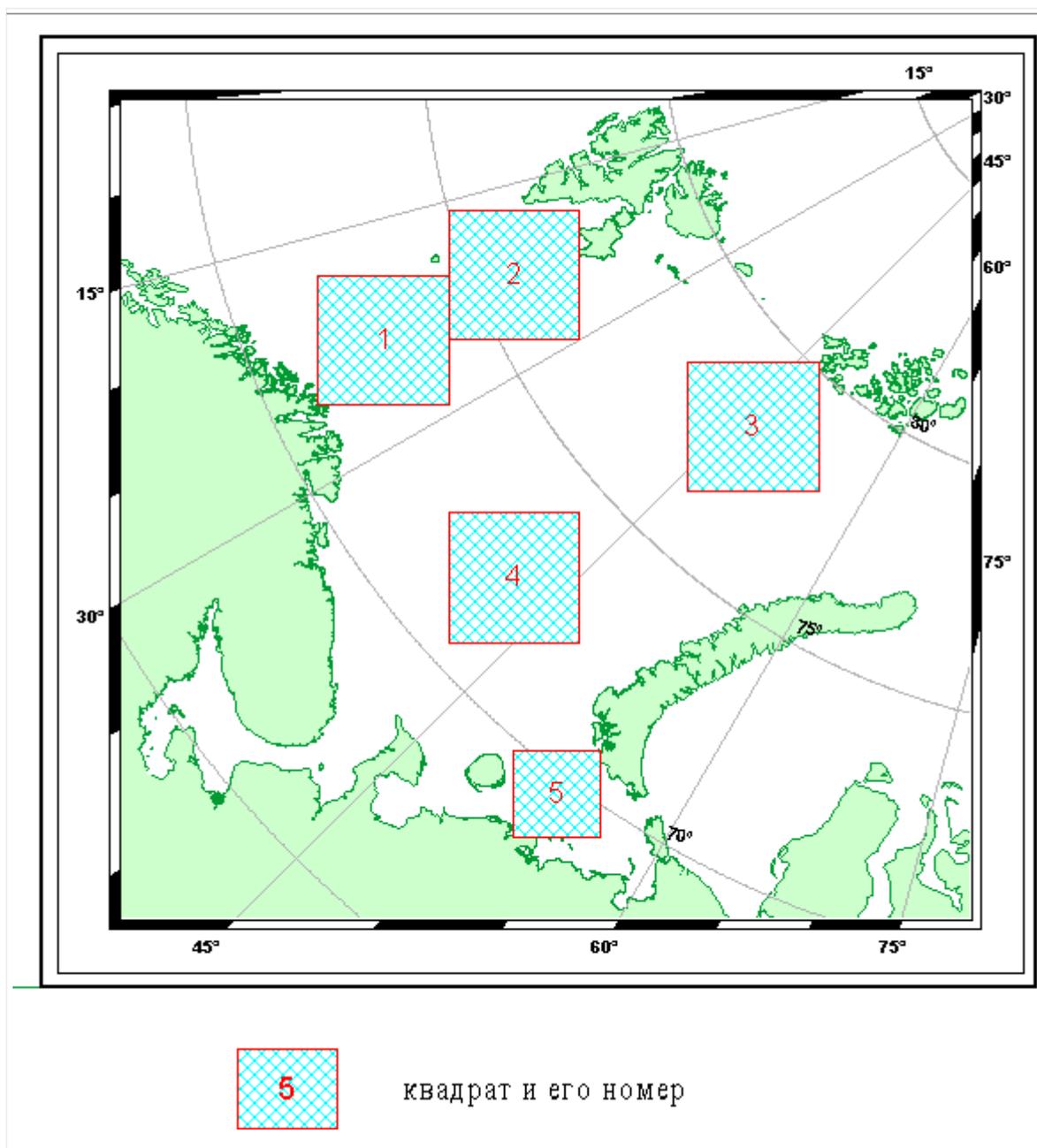


Рисунок 1.6. Схема квадратов, строились вертикальные профили

Номер кв.	Зимний период	Летний период
1	<p>• 11 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое температура зимы, квартал 1</p>	<p>• 11 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое температура летом, квартал 1</p>
2	<p>• 17 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое температура зимы, квартал 2</p>	<p>• 11 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое температура летом, квартал 2</p>
3	<p>• 1 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое температура зимы, квартал 3</p>	<p>• 11 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое температура летом, квартал 3</p>

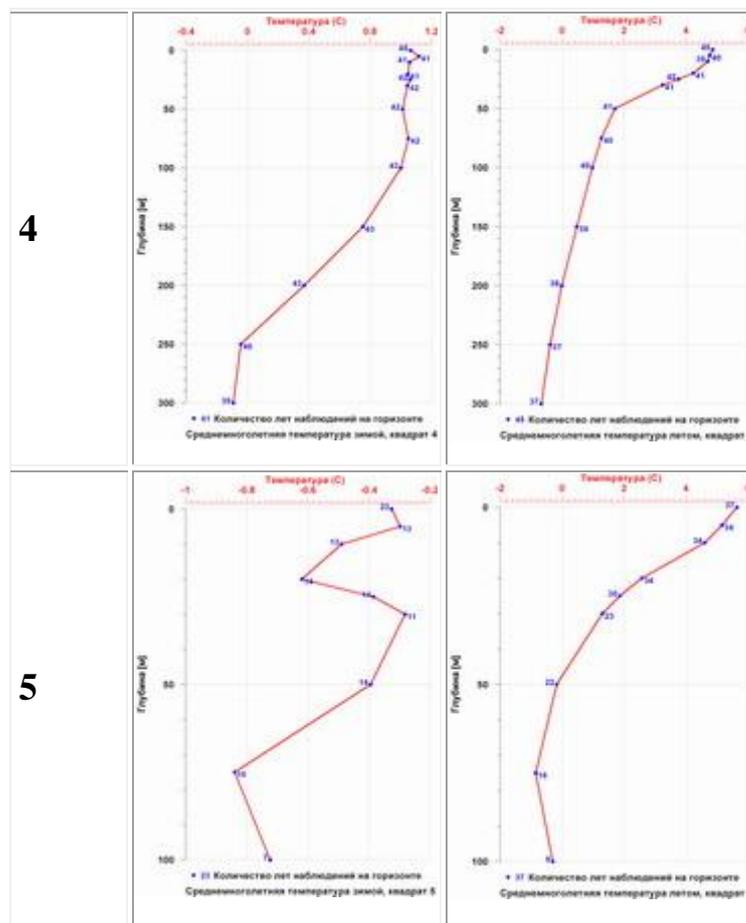


Рисунок 1.7. Средняя температура [°C] по многолетним данным на стандартных горизонтах

В летний период изменения температуры по вертикальному градиенту практически не связаны друг с другом. Исключение составляют слой ветрового перемешивания 0-10 м и слой сезонного термоклина (20-30 или 30-50 м), связь отсутствует. Значения колебаний температуры воды, обусловленные приливной изменчивостью, составляют 0.2-0.5°C в однородных слоях и до 1.0-1.5°C - в слое термоклина.

### 1.1.3. Соленость и водообмен.

Соленость зависит от интенсивности водообмена с окружающими бассейнами, Объем этих вод превышает на 2 порядка содержание пресного баланса. На всё это сильно оказывают влияние воды Атлантики. Их приток

на границе составляет от 49 до 74 тыс. км<sup>3</sup>/год. На севере и северо-востоке приходные и расходные составляющие водообмена достоверны 5-10 тыс. км<sup>3</sup>/год; их результирующая 500 км<sup>3</sup>/год, в проливе Карские Ворота составляет 20 тыс. км<sup>3</sup>/год. 2/3 акватории оказываются под действием атлантических вод. на поверхности соленость воды 34‰, составляя в ядре (73° северной широты, 20-35° восточной долготы) 35‰. остальная часть солености меняется в пределах 32-34 ‰ (рис.1.8).

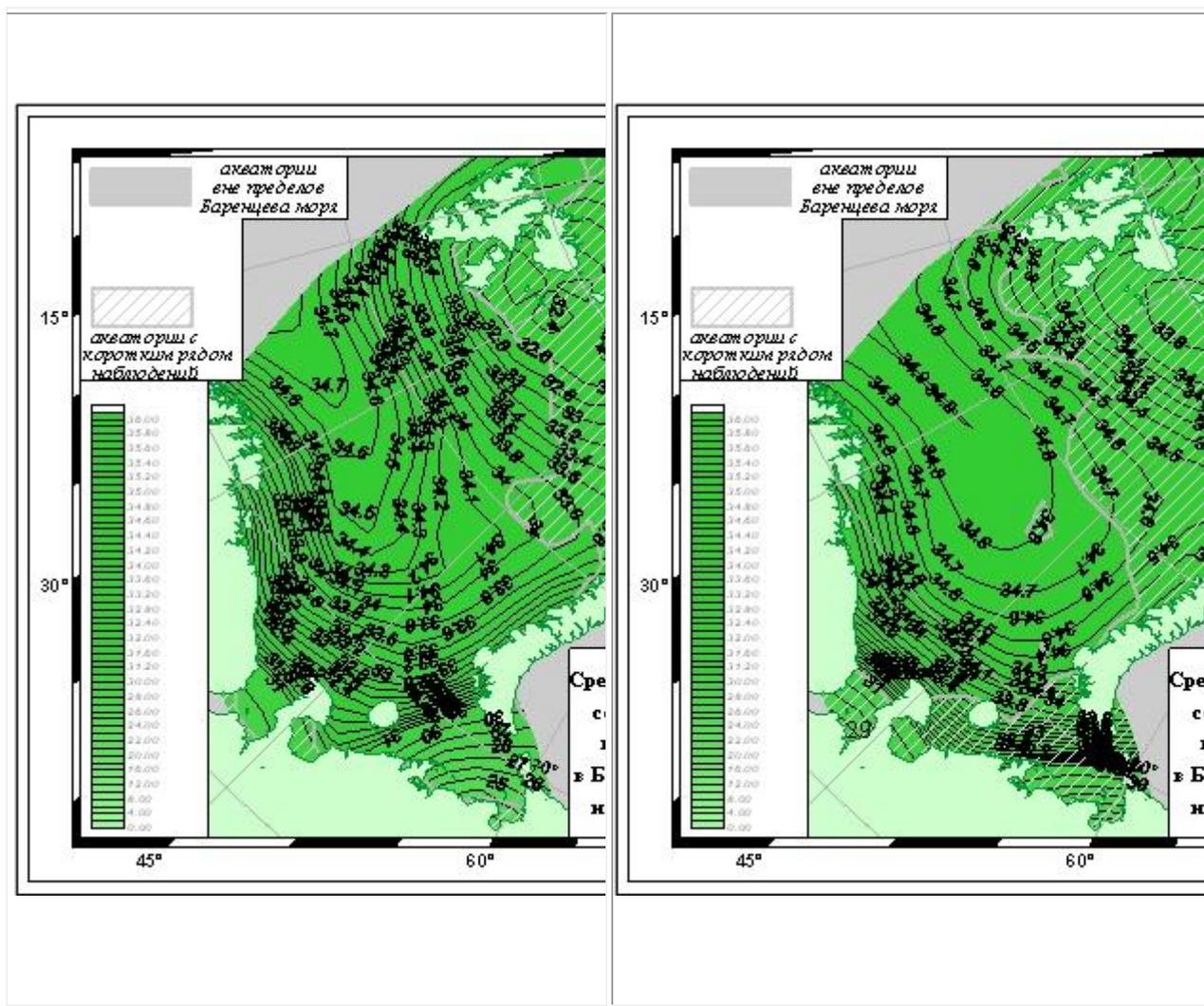


Рисунок 1.8. Среднемноголетняя соленость воды на поверхности в летний и зимний периоды.

Наибольшие величины распреснения бываюют на юго-востоке моря, где выносятся распресненные воды Белова моря (31-33 ‰)

Номер кв.	Зимний период	Летний период
1	<p>• 11 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое количество солености зимой, квадрат 1</p>	<p>• 11 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое количество солености летом, квадрат 1</p>
2	<p>• 10 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое количество солености зимой, квадрат 2</p>	<p>• 10 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое количество солености летом, квадрат 2</p>
3	<p>• 10 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое количество солености зимой, квадрат 3</p>	<p>• 10 Количество лет наблюдений на горизонте Среднегодовое количество солености летом, квадрат 3</p>

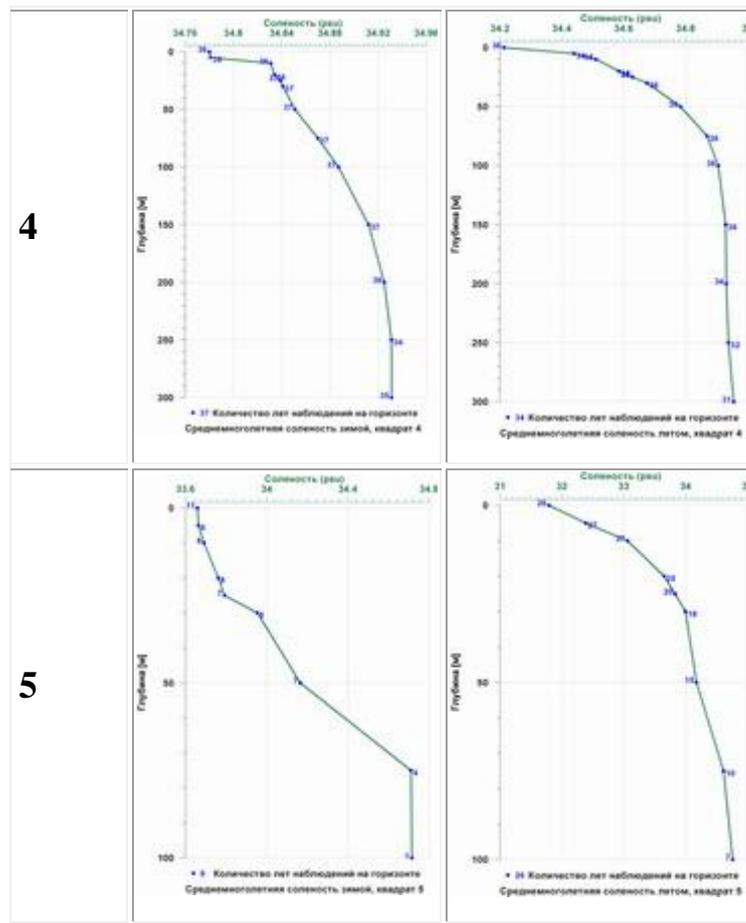


Рисунок 1.9. Средняя соленость [psu, ‰] по многолетним данным на стандартных горизонтах

На поверхности моря соленость (35‰) в юго-западе (Нордкапского желоба) не образуются и не тают льды. К северу и югу идёт понижение до 34.5‰ благодаря таянию льдов. Еще более распреснены (32-33‰) воды в юго-восточной части моря, где таяние льдов сочетается с мощным притоком пресных вод с суши.

Изменчивость солености зависит не только от от сезона к сезону но и места к месту, (Рис. 1.9). Зимой по всему морю соленость 35‰, на юго-востоке от 32.5 до 33‰, усиливается приток атлантических вод и происходит интенсивная ледовитость. Весной остаются высокие значения солености. Узкая береговая полоса Мурманска и Канинско-Колгуевская имеет пониженную соленость: опреснение вызвано возрастающим стоком с

материка. Летом сокращается подача атлантических вод, льды тают, речная вода уходит далеко в море, соленость понижается. На юго-западе соленость 34.5‰, а в юго-восточной - 29-25‰. Осенью в течение некоторого времени соленость остается пониженной. Но вследствие уменьшения речного стока и начавшегося ледовитости соленость повышается.

Зимой соленость у Новой Земли и весной 34.5‰, летом и осенью понижается от 33.5 до 34.0‰ объясняется общим летним снижением солености так и значительным поступлением сильно опресненных вод Карского моря с течением Литке.

В северной части моря водная масса имеет соленость аналогичную арктической водной массе (32-34 ‰); летом ее соленость понижается дополнительно за счет таяния льда. Отметим, что ледовые процессы отражаются только на сезонных изменениях солености, среднегодовые величины солености не зависят от льда, т.к. явно выраженного годового стока или притока льда на границах моря не наблюдается. Ледообразование сопровождается ярким перемещением.

Межгодовая изменчивость солености в акватории бывает в поверхностном слое. В сезонном слое и ниже ее практически нет. В атлантической водной массе среднеквадратическое отклонение среднемесячных значений солености составляет 0.1 ‰, на юго-востоке моря в поверхностном слое -1.0 ‰. Сезонные изменчивости солености в атлантике происходят за счет, превышения осадков над испарением или таянием льда. Отличие режима солености зависит от формирования обширной зоны распресненных вод, в итоге мы увидим вертикальный градиент солености в летние месяцы, который превышает 1.0‰ /м и образует скачок; возникает галоклин похожий на термоклин и усиливает плотностную расслоение вод. При уменьшении речного стока и усилении ветрового перемешивания (с августа по ноябрь) соленость воды быстро увеличивается и, следовательно, летнее распреснение меньше сказывается на ледовых процессах, чем, например, в Карском море, где к моменту ледообразования соленость поверхностных вод ниже.

По-разному распределяется соленость с глубиной, что связано с рельефом дна и притоком атлантических и речных вод. В большинстве районов Баренцева моря соленость увеличивается от 34‰ на поверхности до 35.1‰ у дна. Повертикали над подводными холмами изменения солености еще меньше. Мало изменение распределения солености на глубине от сезона к сезону. Поверхностный слой опреснен летом, а с горизонта 25-30 м начинается повышение. Зимой изменение быстро сглаживается. В значительно больших пределах изменяются величины солености с глубиной в юго-восточной части моря. Разность солености на поверхности и на дне зависит от нескольких промилле. Хорошо заметны изменения вертикального распределения солености. Зимой соленость почти выравнивается по всей толще воды. Поверхностный слой опресняют речные воды по весне. Летом опреснение воды усиливается за счет таянья льда, поэтому между горизонтами 10 и 25 м образуется резкое изменение солености. Осенью сокращение стока и ледообразование вызывают увеличение солености и выравнивание ее по глубине.

Особенности распределения по вертикали солености в западном, северном, приноземельском и северо-восточном районах представлены на рис.6.

Межгодовая изменчивость, зависит от колебаний речного стока.

#### 1.1.4. Течения.

Сложная система течений существует в Баренцевом море. Свойством которого является движение воды против часовой стрелки. Она активно реагирует на изменения синоптических условий. Непосредственно является крупномасштабным процессом в системе океан-атмосфера северной Атлантики. Имеет хорошее распространение на изменение плотности вод и приливной волны из Атлантики и Арктической акватории.

Ввиду крайне малого наблюдения за течениями, которые развиваются под воздействием полей ветра для прохождения барического образования исследований как постоянных, так и дрейфовых применяются только

расчетными методами. Один из таких методов, был разработан в МФ ААНИИ и рассчитан по системе преобладающих поверхностных течений, описывающая только теплые воды, протекающие с запада, и холодные - с севера (Рис.1.10).

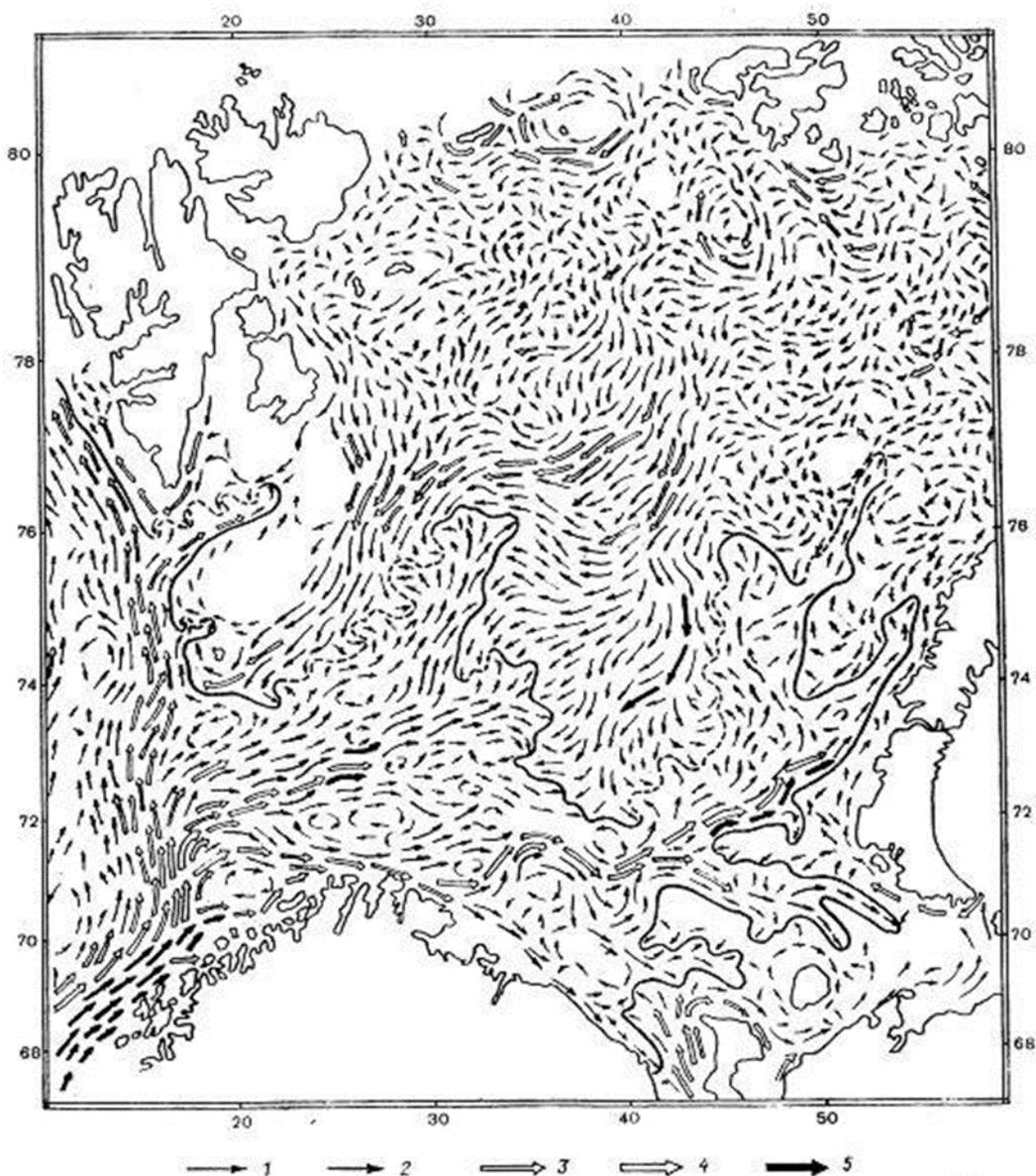


Рис. 8 Карта преобладающих поверхностных течений Баренцева моря (ПИНРО, 1961). // Толщиной стрелок показана скорость течения, т.е. 1 — до 0,1; 2 — 0,1—0,2; 3 — 0,2—0,5; 4 — 0,6—1,0; 5 — свыше 1,0. Длинна стрелок соответствует устойчивости течений. Сплошной линией показано положение фронтальной зоны.

Рисунок 1.10. Карта поверхностных течений Баренцева моря [1].

Тёплое Нордкапское течение образуется в ходе наиболее мощного и устойчивого потока. Это обуславливает гидрологический режим моря. Если

рассматривать с западной части, то будет видно что на востоке, будет несколько ветвей. Воды береговой ветви Нордкапского течения от Кольского залива отклоняется к юго-востоку, движение идет вдоль побережья Кольского полуострова и уходит в горло Белова моря. Мурманское течение образуется из-за другой части прибрежного течения, которая следует на северо-восток, имеющее северо-восточное направление. Небольшая ветвь отделяется и уходит на восток в район Северо-Канинской банки, под названием которого Колгуево-Печорского течения уходит в горло Белова моря. Мурманское течение продолжит движение на северо-восток и будет называться Новоземельское. Беломорские и Печорские стоковые течения имеют особую группу. У них пониженная солёность. Северная ветка Нордкапского течения, достигшая повышения дна на  $73^{\circ}$  северной широты, и  $30^{\circ}$  восточной долготы, отклоняется на северо-восток. Часть ветки движется на восток и юго-восток, в циклонный круговорот. Масса воды северной ветки Нордкапского течения сворачивает на запад и юго-запад.

Холодные воды из Арктики направлены на юг от Земли Франца-Иосифа до востока Шпицбергена и его берегов.

Рассмотрение диагностической модели В.А. Буркова позволило исследовать структуру вертикальных течений и узнать, что в глубинах слою (ниже 200 м) циклон циркуляции изменяется на антициклон.

Приливные течения одна из самых главных особенностей акваторий. Вызванные приливными колебаниями периодичность, происходит неодинаково, из-за направления приливных течений в разные районы моря. Вдоль Мурманского побережья возникающее течение при приливе, меняется при отливе на обратное. На открытой части моря, направление течений меняется по часовой стрелке, а на некоторых против. Смена направления происходит по всему слою воды одновременно от поверхности до дна.

Скорость течения, превышает скорость постоянных. Особенно это просматривается в верхнем слою 150 см/с. Большие скорости у приливных течений Мурманского берега, при входе в горло Белого моря, в Канинско-

Колгуевском и Южно-Шпицбергенском мелководье. В открытом море скорость течения 10-20 см/с, на юго-востоке 30-40 см/с, на западе 30-50 см/с. Вся толщу вод Баренцева моря захватывают приливные течения. С глубиной, скорость течения уменьшается, те районы, где они значительны.

## 1.2. Ледовый режим

Баренцево море относится к составу ледовитых морей. В отличие от других морей Арктики оно не имеет свойство покрываться полностью льдом. Ежегодно около 1/4 его поверхности не покрывается льдом в течение круглого года. Виной всего является приток атлантических вод, приносит такое количество тепла, что оно не позволяет воде охладиться до температуры замерзания. Так как ледообмен Баренцева моря особо незначителен и поэтому составляет около 3% от льда в конце зимы, то в основном в море преобладают льды местного происхождения. Только в отдельные годы из Белого моря поступают многолетние льды в северо-восточную и северо-западную части моря, а также приносятся зимой и через новоземельские ворота.

Ледовитость Баренцева моря неодинакова. В связи с напряженностью Нордкапского процесса здесь выявлены колебания, атмосферной циркуляции с потеплением или похолоданием Арктики. Наибольшая ледовитость обычно наблюдалась во втором промежутке апреля, а наименьшая была замечена под конец августа и в первой половине сентября. Если август и сентябрь аномально теплый, море будет полностью очищено от льда, а в необычные года, ледовитость имеет сохранение от 40 до 50 % его площади, находящийся больше на севере. Ничем не примечательное отклонение неравномерных колебаний 60 %. В центральных районах начало берёт в октябре, в сентябре уже в северной части. Преобладают плавучие льды. Очень слабо развит припай. Припай занимает небольшие площади в Канинско-Печорском районе и у Новой Земли, идёт распространение айсбергов. В зимний период, льды идут с севера на юг и с востока на запад. Длительная процедура до апреля включительно, следовательно, в сентябре появляется отступление кромки льда на восток и на север, происходит в результате выпавания более тонкий

лёд. В момент протекания максимальной ледовитости, кромка льда проходит вдоль западного берега Шпицбергена около 10-30 миль. Она опускается до острова Медвежий и, потихоньку отклоняется к юго-востоку, на 45ов.д. достигает 74ос.ш. Затем кромка льда круто сворачивает на мыс Святой Нос. Крупная область покрыта льдами. Это обычно происходит в апреле. Кромка льда в апреле спускается с западных районов южнее 73° северной широты и подходит к берегу Кольского полуострова у острова Кильдин. Обычно в мае юго-восточная часть очищается от льда, но иногда идёт задержка здесь до августа. Толщина льда в зимний период достигает примерно 70-75 см. Центральные районы Баенцева моря освобождаются от льда с июня по июль. В этот промежуток времени толщина льда достигает 1 метра. Наибольшая толщина льда у мыса Желания 150-160 см. На севере моря минимальное количество льда бывает в августе. Ледовитость имеет отличную сплоченность в течении всего зимнего периода. однако у берегов архипелага Новая Земля, у островов Колгуев и Вайгач возникают крупные промоины, природа связана с режимом местных ветров. Положение водных образований главным образом зависит от устойчивости отжимного

ветра.

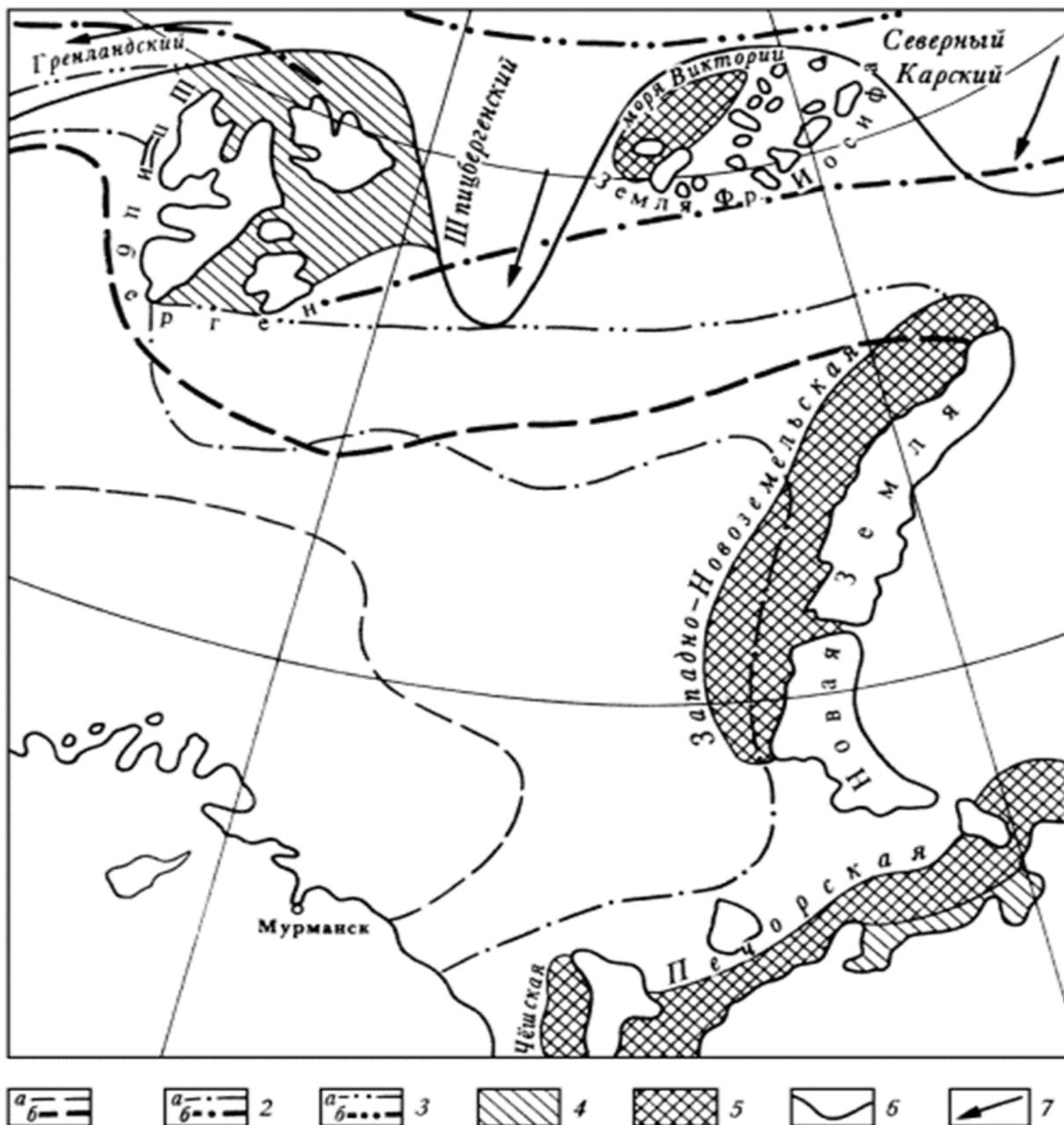
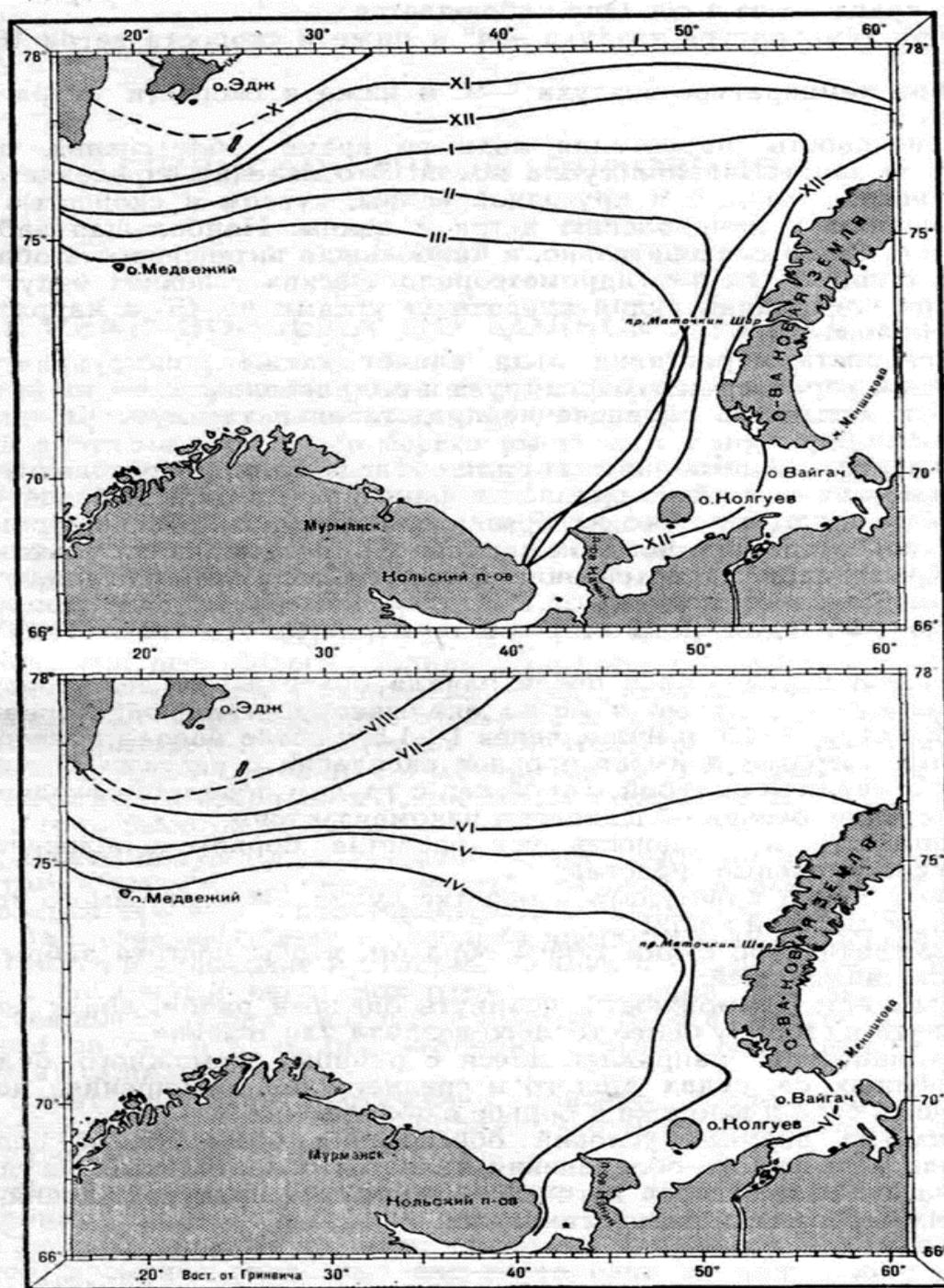


Рис. 1.11. Границы распространения льдов в Баренцевом море:

1 — максимальная в феврале (а) и августе (б); 2 — средняя в феврале (а) и августе (б); 3 — минимальная в феврале (а) и августе (б); 4 — припай; 5 — полюнья; 6 — граница отрогов ледяных массивов; 7 — преобладающее направление дрейфа

В открытой части Баренцева моря встречаются больше всего однолетние дрейфующие льды. Они имеют разнообразные формы: от мелкобитого льда, до больших ледяных полей.



На Рис. 1.12 представлено среднее многолетнее распространение дрейфующих льдов по месяцам.

Появление льдов с октября - ноябрь; по наибольшему распространению ледяная корка ложится к апрелю, кромка льда находится в южном положении. С апреля она образуется с запада на восток по параллелям  $74^{\circ}$  и  $75^{\circ}$  северной широты; примерно от меридиана  $44^{\circ}$  восточной долготы, лёд поворачивает на юг и располагается в районе мыса Святой Нос. В мае лёд в открытом районе становится меньше; в сентябре граница распространения льда проходит у северо-восточного и северного берега острова Эдж.

Юго-западная часть акватории баренцевоморского бассейна зимой свободна от льда. Юго-восточная часть моря отличается наибольшей ледовитостью. Лед исчезает только во второй половине июня, а в годы с очень суровыми зимами - в конце июля - начале августа.

По всей длине Мурманского побережья льда практически не бывает, только на вершинах некоторых заливов и в районе мыса Святой Нос. Ледяной слой здесь неустойчив. Дрейфующий лед наблюдается в очень суровые зимы при устойчивых ветрах восточных направлений; он заходит сюда из юго-восточной и северо-восточной частей Баренцева моря и Воронки Белого моря, иногда доходит до меридиана  $34^{\circ}$  восточной долготы

По берегу юго-восточной части акватории, ледообразование с октября - декабря и с апреля - июнь.

Ледовитость на крайнем востоке может затруднить навигацию до начала июля, а также до августа. Проблемами судоходства создают местные льды и очень мощные льды Карского моря, нагоняемые ветрами через пролив Карские Ворота. Незамерзающей может быть юго-западная часть, схожая с ветро - волновыми условиями Норвежского шельфа. В этой части моря работают суда, которые приспособлены для работы в данных условиях. Лед попадающий в данный район, может иметь небольшую толщину и сплоченность только в очень холодные зимние месяцы (раз в 10 лет). Северо-восточный район для судов без усиленного ледового корпуса закрыт.

Сложность в том, что в этой части моря при сильном ветре и низких температурах может происходить брызговое оледенение судов.

Так называемое Печерское море с ноября по май скованно льдом, поэтому суда могут продвигаться при наличии ледового усиления от Arc 4 до Arc 6 в зависимости суровости зимы.

В летний период (с июля по октябрь) ограничений по плаванию судов нет, так как море открыто.

На северо – востоке лед покрывает море практически весь год, не включая период с августа по сентябрь. Образовавшийся в середине октября лед в северной части моря начинает движение к югу, и уже в марте доходит до 75° северной широты на западе и покрывают всю его юго – восточную часть. К апрелю, лед занимает 3/4 поверхности акватории. В середине апреля кромка льда начинает отступать на север, и только к августу крайняя северная часть моря очищается от льдов. Вся территория, находящаяся между 74° и 78° северной широты в зимний период покрыта льдом при устойчивых северо-восточных ветрах. Значительные размеры, сплоченность и торосистость могут иметь льды, которые пришли из Арктики. Лед, который образовался на месте не достигает толщины более чем 30 – 40 см, и такая ледовитость, не оказывает серьезного влияния на судоходство. Часта проникновения и глубина арктических льдов не имеют четких закономерностей. Свойство ледового режима зависит от того, что акватория никогда в жизни не покрывается льдом полностью. Во время покрова льда, с марта по апрель, покрытие составляет 55-60% от всей поверхности моря, остальная часть - открытая вода.

Замороженный слой бывает: многолетний толщина слоя до 3 м, айсберги, одногодного льда менее 1,5 м. Длительное ледообразование распространяется на трудно проходимом участке вдоль восточного побережья архипелага Шпицберген и Земля Франца Иосифа сугубо весной. По большей части территории Баренцева моря идёт преобразования льда. 10% в среднем долголетний лёд, участки с одногодичным льдом составляет 15%.

В Баренцево море приплывают айсберги, поступающие из Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа и Новой Земли. Ледовый странник движется из указанного района под действием доминирующих течений океана и ветров. Айсберги проходят огромные расстояния.

Образование припая бывает каждый год вдоль берегов и островов акватории Баренцева моря. Ширина припая хорошо замечена в южных бухтах и заливах, но и остров Земли Франца - Иосифа и архипелага Шпицберген тоже не отстают.

Зимой очень часто встречаются сильные сжатия льдов в акватории, образуются торосы и глыбы. Стамухи возникают в доль берега до 20 м глубиной. Верхний кусок (надводной части) бывает от 3-5 м, а подводная часть - 15-20 м. Наибольшая сила грядообразования наблюдается на северо-западе и юго-востоке, что привело к дрейфу льда в сторону берега.

## 2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ

### 2.1 Характеристика исходных данных

В качестве исходных данных к работе выбраны следующие гидрометеорологические характеристики.

1. Среднегодовые значения ледовитости Баренцева моря в % от общей площади моря за период 1950-2015 гг.
2. Среднегодовые значения температуры воды в слое 0-200 м. на разрезе «Кольский меридиан» за период 1950-2015 гг.
3. Среднегодовые значения индекса NAO за период 1950-2015 гг.

#### 2.1.1

Расчет первичных характеристик временных рядов

Совокупность наблюдений (измерений) какой-либо характеристики объекта представляется в виде статистического ряда. Статистический ряд записывается в виде столбца. Если одновременно измерялось несколько характеристик объекта, получается несколько рядов.

Для характеристики статистических рядов используются показатели первичной статистики. Они разбиваются на несколько групп:

1. Показатели положения (среднее арифметическое);
2. Показатели рассеяния (стандартное отклонение, размах);
3. Эмпирическая функция распределения и характеристики ее формы.

Среднее арифметическое значение статистического ряда ( $\bar{x}$ ). Характеризует центр тяжести исследуемой характеристики или точку ее равновесия при различных колебаниях. Рассчитывается по

формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Стандартное (или среднее квадратичное) отклонение ( $\sigma$ ) характеризует среднее рассеяние значений ряда от среднего арифметического значения. Рассчитывается по формуле

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad \sigma = \sqrt{D}$$

Размах вариации амплитуды колебания характеризует максимальный разброс значений ряда:

$$R = \max - \min$$

Коэффициент вариации (С) – безразмерный показатель изменчивости характеристики в исследуемой выборке.

$$C = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

Коэффициент вариации позволяет оценить, велика или нет изменчивость ряда: если он составляет более 33% - изменчивость значительна, а если меньше – изменчивость мала, выборка может считаться однородной.

Коэффициент вариации также используется для сравнения изменчивости двух выборок с разными единицами измерения. [8].

## 2.1.2

Расчет коэффициента линейной корреляции

Коэффициент корреляции является безразмерной параметрической характеристикой линейной взаимосвязи двух случайных величин X

и Y. Для оценки тесноты и направления связи между изучаемыми переменными пользуются показателем корреляции. Коэффициент корреляции может быть рассчитан по формуле

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(x_{1i} - \bar{x}_1) \cdot (x_{2i} - \bar{x}_2)]}{N\sigma_1\sigma_2}$$

Знание автокорреляционных функций позволяет решить широкий круг задач, связанных с исследованием и прогнозированием изменчивости гидрометеорологических условий. К ним относятся: выделение скрытых периодичностей, в том числе регулярных межгодовых колебаний; вычисление оценки спектральной плотности; оценка степени связности ряда.

### 2.1.3

Функция спектральной плотности

В гидрометеорологии понятие спектра широко используется для выделения скрытых периодичностей временного ряда, для исследования закономерностей его частотной структуры, при моделировании и прогнозе стационарных процессов. Спектральная плотность – величина размерная, ее размерность соответствует квадрату случайной величины.

### 2.1.4

Классификация временных рядов гидрометеорологических характеристик

Средние и годовые аномалии температуры воды ( $\Delta T, ^\circ\text{C}$ ) исследуемых течений сравнивались с определенными величинами среднеквадратичных отклонений, и уровень теплового состояния вод оценивается по 5 градациям:

- 1 – аномально холодный год,  $-\Delta T, ^\circ\text{C} > 1,5\sigma_T$ ;
- 2 – холодный год,  $0,5\sigma_T < -\Delta T, ^\circ\text{C} \leq 1,5\sigma_T$ ;
- 3 – средний или нормальный год,  $\pm \Delta T, ^\circ\text{C} \leq 0,5\sigma_T$ ;
- 4 – теплый год,  $0,5\sigma_T < \Delta T, ^\circ\text{C} \leq 1,5\sigma_T$ ;
- 5 – аномально теплый год,  $\Delta T, ^\circ\text{C} > 1,5\sigma_T$ ;

Средние и годовые аномалии ледовитости ( $\Delta L$ ) оцениваются по 5 градациям:

- 1 – аномально теплый год,  $-\Delta L > 1,5\sigma_L$ ;
- 2 – теплый год,  $0,5\sigma_L < -\Delta L \leq 1,5\sigma_L$ ;
- 3 – средний или нормальный год,  $\pm \Delta L \leq 0,5\sigma_L$ ;
- 4 – холодный год,  $0,5\sigma_L < \Delta L \leq 1,5\sigma_L$ ;
- 5 – аномально холодный год,  $\Delta L > 1,5\sigma_L$ ;

### 3. ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛЕДОВИТОСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

#### 3.1. Межгодовая изменчивость гидрометеорологических характеристик Баренцева моря

Рассмотрим некоторые характеристики, которые могут оказать влияние на межгодовую изменчивость ледовитости.



Рисунок 3.1 Временной ход нормированных значений температуры воды на «Кольском меридиане».

В начале девяностых годов наметилась тенденция к потеплению, но в настоящее время эта тенденция замедлилась.

Ледовые процессы достаточно инерционны



Рисунок 3.2 Нормированное значение ледовитости Баренцева моря

Во временном ходе ледовитости также присутствует тенденция к её уменьшению, т.е. повышению термического фона Баренцева моря.



Рисунок 3.3 Временной ход нормированных среднегодовых значений ледовитости Баренцева моря и температуры на разрезе «Кольский меридиан»

Изменчивость характеристик ледовитости и температуры воды имеет противоположную направленность, но не всегда только температура воды определяет количество льда, существуют моменты, когда изменчивость ледовых условий не объясняется только температурными изменениями.

Таблица 1. Превичная статистика по гидрометеорологическим характеристикам региона Баренцева моря.

Характеристика	Среднее	Сигма
Tw в слое 0-200 на	4.05	0.52

разрезе №6		
Ледовитость Баренцева моря (%)	41	11
Индекс NAO	-0.23	0.61

### 3.2 Влияние атмосферных процессов, протекающих в северо-восточной Атлантике, на ледовитость Баренцева моря.

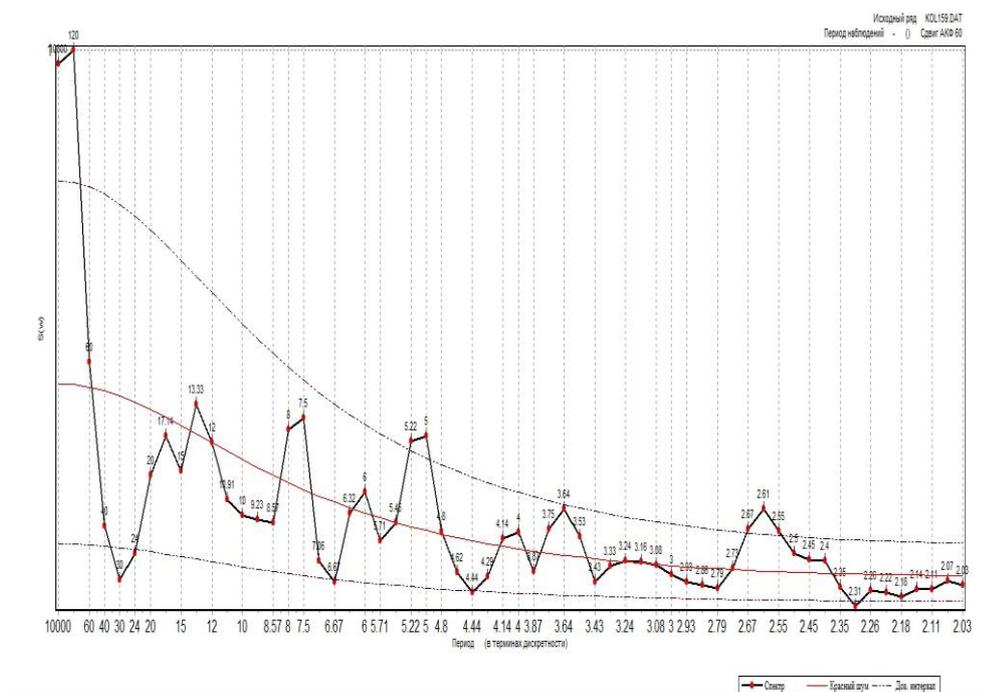
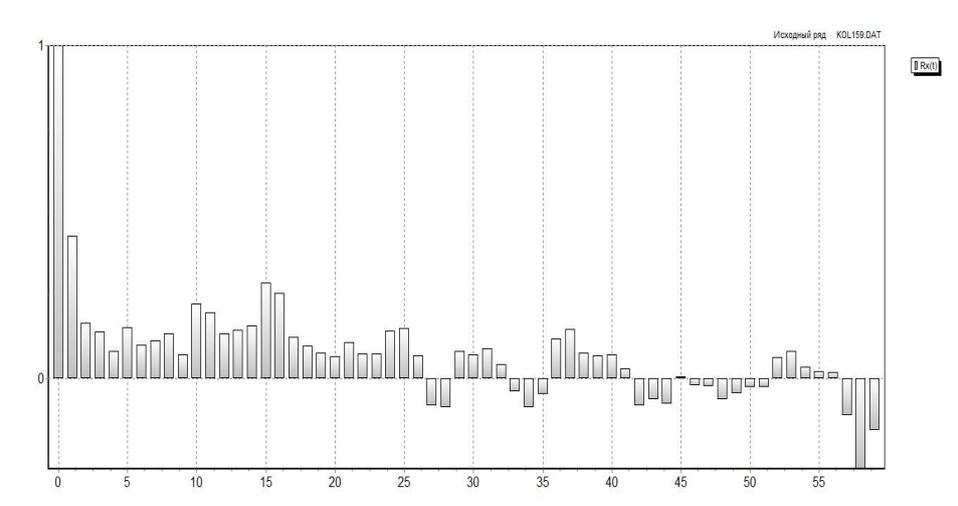


Рисунок 3.4 Автокорреляционная и спектральная функции среднегодовой Тwпо разрезу № 6

Рисунок 3.8 показывает, что в изменчивости Тw по разрезу № 6 присутствует слабо выраженный нелинейный тренд и компоненты с периодами 11, 5.5 и 3 года. Структура межгодовой изменчивости достаточно сложная, но группы частот хорошо обособлены и значимы.

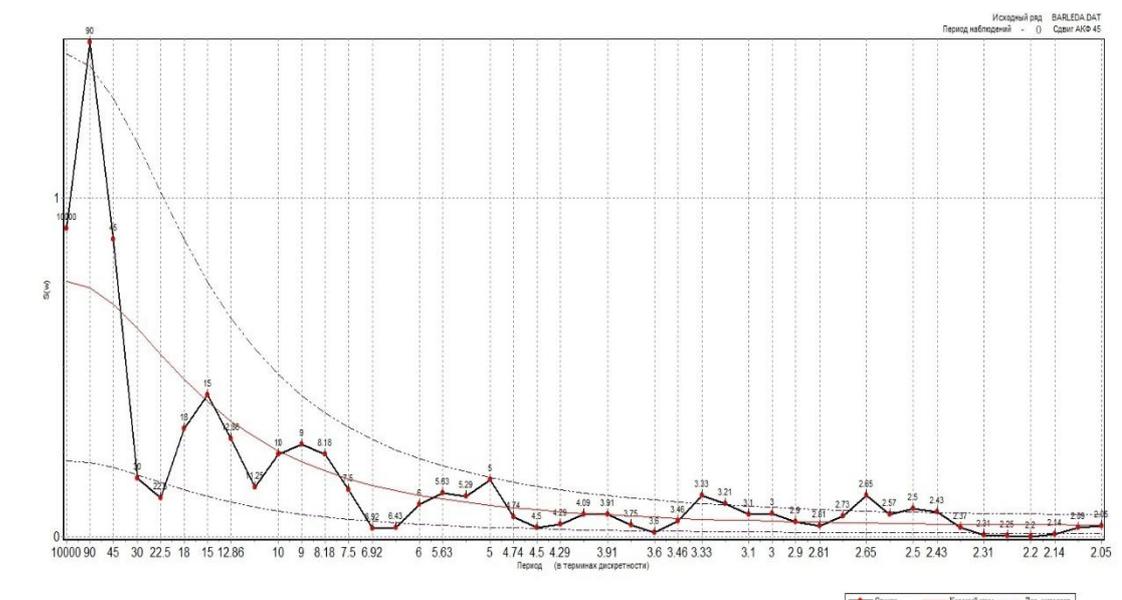
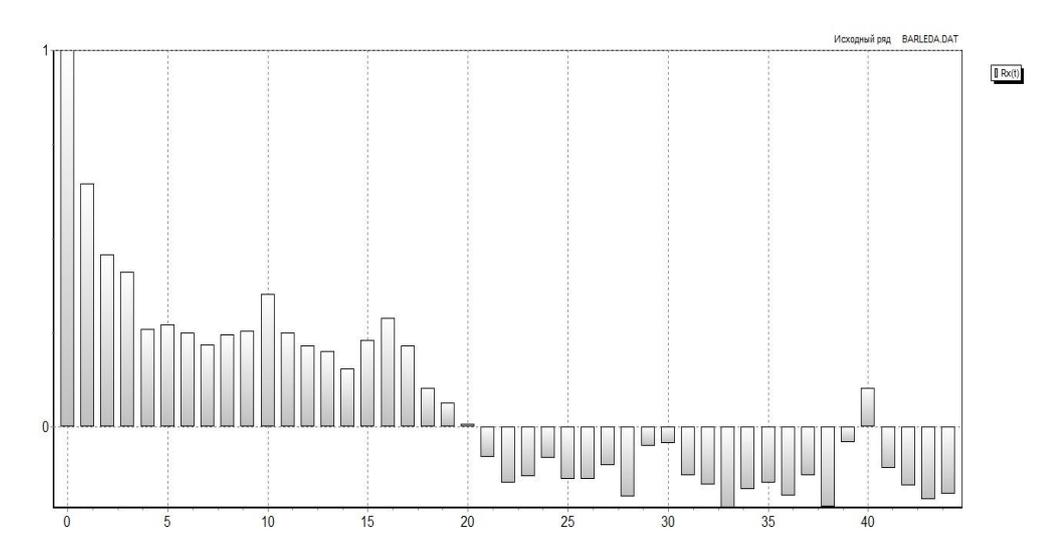


Рисунок 3.5 Автокорреляционная и спектральная функции среднегодовой ледовитости Баренцева моря

В межгодовой изменчивости ледовитости Баренцева моря хорошо прослеживается трендовая компонента. Периодические компоненты выражены несколько хуже. В целом, структуры межгодовой изменчивости  $T_w$  на разрезе № 6 и ледовитости Баренцева моря имеют известную схожесть, что определяется, в первую очередь, тесной физической связью этих процессов.

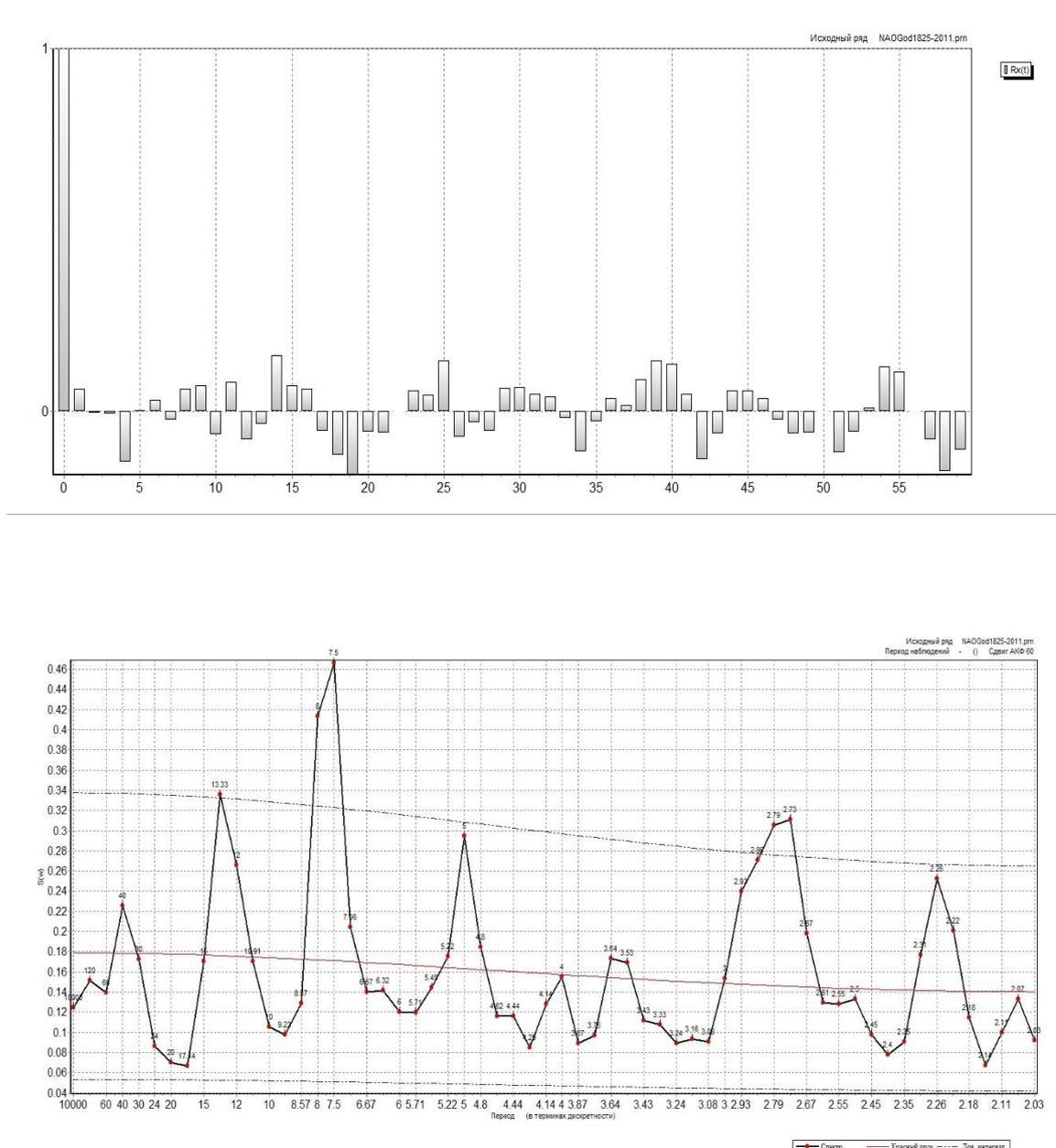


Рисунок 3.6 Автокорреляционная и спектральная функции среднегодовых значений индекса NAO

Межгодовая изменчивость индекса NAO имеет структуру, в корне отличающуюся от структур Tw разреза № 6 и ледовитости. Это определяется многообразием факторов, влияющих на межгодовую изменчивость гидрометеорологических параметров в северной Атлантике. В первую очередь, следует отметить отсутствие трендовой компоненты. Тем не менее, в изменчивости NAO есть компоненты (5 лет, 3 года), которые есть в структурах Tw и ледовитости. Можно предположить, что изменчивость индекса NAO вносит свою лепту в межгодовые изменения ледовитости Баренцева моря.

### 3.2.1 Корреляционные связи ледовитости Баренцева моря.

Для определения пространственных связей ледовитости Баренцева моря, рассчитана корреляционная матрица.

Таблица 2. Корреляционная матрица ледовитости Баренцева моря и некоторых гидрометеорологических характеристик.

	NAO	Tw	Led
NAO	1,00	<b>0,38</b>	<b>-0,29</b>
Tw	0,38	1,00	<b>-0,78</b>
Led	-0,29	-0,78	1,00

По данным вышеуказанной таблицы видно, что изменчивость температуры воды достаточно тесно связана с изменениями ледовитости ( $R_{xy}=-0.78$ ). Связь обратная, что обусловлено физической природой взаимодействия этих характеристик. Также обратная связь характерна для ледовитости и индекса NAO. Коэффициент корреляции не высок ( $R_{xy}=-0.78$ ), но тем не менее он значим и показывает, что атмосферные процессы опосредованно оказывают влияние на межгодовую изменчивость ледовитости.

### 3.3 Классификация ледовитости Баренцева моря по градациям.

Таблица 3. Классификация лет по уровню теплового состояния вод основных течений на разрезе «Кольский меридиан» в слое 0-200 м с 1951 по 2015 г.

Течение	Аномально холодный год	Холодный год	Нормальный год	Теплый год	Аномально теплый год
Мурманское	1966,1978, 1979,1981	1953,1956 , 1958,1963 , 1965,1968 , 1969,1971 , 1977,1980 , 1982,1985 , 1986,1987 , 1988,1996 , 1997,1998	1955,1957, 1959,1960, 1961,1962, 1964,1967, 1970,1972, 1974,1976, 1984,1993 1994,1995, 1999,2003, 2011	1951,1954 , 1973,1975 , 1983,1989 , 1990,1991 , 1992,2000 , 2001,2002 , 2004,2005 , 2006,2008 , 2009,2010 , 2013,2014 , 2015	2007,2012

Таблица 4. Классификация лет по уровню ледовитости Баренцева моря в слое 0-200 м с 1951 по 2015 г

Течение	Аномально теплый год	Теплый год	Нормальный год	Холодный год	Аномально холодный год
Мурманское	2006,2007, 2012	1954,1955 , 1956,1984 , 1992,1995 , 2000,2001 , 2004,2005 , 2008,2009 , 2010,2011 , 2013,2014 , 2015	1951,1952, 1953,1957, 1959,1960, 1961,1965, 1970,1971, 1972,1973, 1974,1975, 1976,1977, 1983,1985, 1986,1990, 1991,1993, 1994,1996, 1997,1999, 2002,2003, 2004,2009	1958,1962 , 1963,1964 , 1966,1967 , 1978,1979 , 1980,1981 , 1982,1987 , 1988,1989 , 1998	1968,1969

Таблица 5. Несоответствие градаций по уровню температуры и ледовитости Баренцева моря в слое 0-200 м с 1951 по 2015 г.

Течение	Аномально теплый год	Теплый год	Нормальный год	Холодный год	Аномально холодный

					год
Мурманско е	2006	1951,1955 , 1956,1973 , 1975,1983 , 1984,1989 , 1990,1991 , 1995,2002 , 2006,2011	1951,1952, 1953,1955. 1962,1964, 1965,1967, 1971,1973, 1975,1977, 1983,1985, 1986,1990, 1991,1995, 1996,1997, 2002,2004, 2009,2011	1953,1956 , 1962,1964 , 1965,1966 , 1967,1968 , 1969,1971 , 1977,1978 , 1979,1981 , 1982,1985 , 1986,1989 , 1996,1997	1966,1968, 1969,1978, 1979,1981

Согласно классификации, теплые годы характеризуются положительными аномалиями температуры воды и отрицательными аномалиями ледовитости. Холодные годы характеризуются отрицательными аномалиями температуры воды и положительными аномалиями ледовитости.

Переходные от холодных к теплым, это годы, в которые аномалии температуры воды и ледовитости были положительными, переходные от

тёплых к холодным эти годы характеризуются отрицательными аномалиями температуры воды и ледовитости.

В данной классификации добавлена информация, что изменилось за последние пятнадцать лет. За этот период отмечены несовпадения аномально тёплых периодов в изменчивости температуры воды на разрезе №6 и ледовитости Баренцева моря (см. Таблицу 4). Это указывает на то, что изменчивость ледовитости Баренцева моря определяется не только термическим фоном вод моря, но и опосредованным влиянием атмосферных процессов в сопредельных регионах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дипломного проекта была изучена внутригодовая и межгодовая изменчивость Баренцева моря. В результате проведения расчетов и их анализа удалось сделать следующие выводы:

- Межгодовая изменчивость ледовитости Баренцева моря имеет сложную структуру.
- В формировании межгодовой изменчивости ледовитости принимает участие не только температура, но и другие гидрометеорологические процессы (индекс NAO).
- Характер изменчивости не однозначен. Не всегда изменения температура воды полностью определяет изменения количества льда, существуют моменты, когда изменчивость ледовых условий не объясняется только температурными изменениями.
- Межгодовая изменчивость индекса NAO имеет структуру в корне отличающуюся от структур Tw разреза № 6 и ледовитости. Это определяется многообразием факторов, влияющих на межгодовую изменчивость гидрометеорологических параметров в северной Атлантике.
- Продолжена классификация термических и ледовых условий на акватории Баренцева моря за период 2001-2015 гг.
- Согласно классификации, теплые годы характеризуются положительными аномалиями температуры воды и отрицательными аномалиями ледовитости. Холодные годы характеризуются отрицательными аномалиями температуры воды и положительными аномалиями ледовитости.
- Обновлённая классификация позволила отметить, что моменты аномального потепления в рядах температуры воды и ледовитости не всегда

совпадают (в частности 2006-2007 гг). Это подтверждает вывод о том, что в формировании внутригодовой и межгодовой изменчивости ледовитости Баренцева моря принимает участие не только термические, но и атмосферные процессы.

- Корреляционные связи, хотя и частично являются значимыми, однако не позволяют построить надёжную для прогнозирования регрессионную модель.

- Для достижения успехов в прогнозировании ледовитости Баренцева моря необходимо либо найти более тесные и устойчивые связи с гидрометеорологическими процессами в сопредельных регионах, либо опираться на аппроксимацию закономерностей в межгодовой изменчивости этой характеристики.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. ru.wikipedia.org» Баренцево море;
2. В.В. Терещенко «Сезонные и межгодовые изменения температуры и солености воды основных течений в разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море»;
3. А.Д. Добровольский; Б.С. Залогин «Моря СССР»;
4. images.yandex.ru» Баренцево море на карте;
5. Моря России-Баренцево море. География, Бассейн...  
searus.ru»barencevo.html
6. О.В. Титов, С.А. Иванов, В.А. Ившин «Изменения климата, фронтальные зоны и их роль в воспроизводстве промысловых рыб Баренцева моря»;
7. «100 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море»;
8. С.М. Гордеева Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки гидрометеорологической информации»;
9. В.Н. Малинин «Статистические методы анализа гидрометеорологической информации»;