



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)**

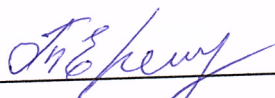
На тему Ледовитость Баренцева моря в условиях меняющегося климата

Исполнитель Сафонова Ксения Андреевна  
(фамилия, имя, отчество)

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

Гордеева Светлана Михайловна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

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

Еремина Татьяна Рэмовна  
(фамилия, имя, отчество)

«19» июня 2017г.

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 Ледовитость Баренцева моря в условиях меняющегося климата

Исполнитель Сафонова Ксения Андреевна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Гордеева Светлана Михайловна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Еремина Татьяна Рэмовна

(фамилия, имя, отчество)

«  »    20   г.

Санкт–Петербург  
2017

## Содержание

Введение.....	5
1 Физико-географическое описание Баренцева моря .....	7
1.1 Географическое положение Баренцева моря .....	7
1.2 Гидрологическая характеристика .....	9
1.3 Ледовитость.....	12
1.4 Климатические условия .....	13
1.5 Краткая характеристика Гренландского моря .....	15
1.6 Краткая характеристика Норвежского моря.....	17
2 Материалы и методы исследования.....	19
2.1 Исходные данные.....	19
2.2 Статистические методы исследования .....	21
2.2.1 Кластерный анализ .....	21
2.2.1 Выделение и анализ временного тренда .....	22
2.2.2 Спектральный анализ .....	22
2.2.3 Вейвлет-анализ.....	23
3 Районирование Баренцева моря и прилегающей акватории по изменчивости сплоченности .....	24
3.1 Районирование региона по временной изменчивости .....	24
3.2 Анализ временного тренда.....	29
3.3 Спектральный анализ .....	32
3.4 Вейвлет-анализ.....	35
4 Оценка связи временной изменчивости сплоченности с другими гидрометеорологическими характеристиками.....	37
Заключение .....	41

Список использованных источников .....	43
Приложение А. Код программы обработки данных на языке ФОРТРАН.	45
Приложение Б. Взаимнокорреляционные функции климатических индексов и временных рядов сплоченности разных районов Баренцева моря и прилегающей акватории. ....	47
Приложение В. Вейвлет-анализ временных рядов сплоченности разных районов Баренцева моря и прилегающей акватории.....	49

## Введение

Настоящий этап геологической истории Земли характеризуется выходом из климатического оптимума и движением в новый ледниковый период. Но в современных условиях наблюдается тренд потепления, продолжительность которого пока слабо поддается прогнозированию. Арктический регион, в частности акватория Северной Атлантики, наибольшим образом подвержен влиянию глобального потепления. Изменение температуры в нем происходит в 3-4 раза быстрее, чем в других частях планеты.

При сохранении положительного тренда роста температуры северного полушария Баренцево море первым из морей российской Арктики станет полностью свободным от льда, что вызовет экономические и экологические изменения в данном регионе. Баренцево море является частью Северного прохода. Эта трасса является наикратчайшим путем из стран Европы и Северной Америки в страны Азиатского региона, индустриально развитых регионов, перевозящих большие объемы грузов, и изменение ледовых условий Баренцева моря, несомненно, скажется на экономическом потенциале этой важной морской магистрали.

Научная новизна работы состоит в использовании новых актуальных информации о сплоченности льдов приатлантического бассейна Арктики.

Цель работы – исследовать пространственно-временную изменчивость сплоченности льда Баренцева моря и взаимодействующей с ним части Северной Атлантики в период с 1981 по 2016 год.

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Изучение климатических особенностей исследуемой акватории (Баренцево, Гренландское и Норвежское моря) по литературным источникам;
2. Разделение исследуемой акватории на районы по признаку изменчивости сплоченности;
3. Исследование временной изменчивости сплоченности в каждом из районов;

4. Выявление связи сплоченности на исследуемой акватории с другими гидрометеорологическими характеристиками.

Основным объектом исследования является акватория Баренцева моря, включая прилегающие акватории Северной Атлантики – Гренландское и Норвежское моря.

Предмет исследования – пространственная и межгодовая изменчивость сплоченности.

Практическим применением работы является возможность использования результатов для оценки климатического состояния и долгосрочного прогноза ледового состояния в приатлантической зоне Арктики.

# 1 Физико-географическое описание Баренцева моря

## 1.1 Географическое положение Баренцева моря

Баренцево море занимает самое западное положение среди морей российской Арктики. Его границы проходят по линии о. Серкапейя (арх. Шпицберген) - о. Медвежий – мыс Нордкап на западе (граница с Норвежским морем), на юге – по берегу материка (граница с Белым морем – от мыса Святой нос до мыса Канин нос), на западе – по западному берегу архипелага Новая Земля до мыса Желания и от него до мыса Кользат (граница с Карским морем). Северная граница определяется по южным проливам архипелага Земли Франца Иосифа, далее от мыса Мэри Хармсуорт до о. Белый и далее по северным берегам островов Земли Франца-Иосифа [1,2].

Площадь моря, по разным источникам, оценивают от 1405 до 1438 тысяч км<sup>2</sup>, объем – от 282 до 322 тысяч км<sup>3</sup>. Средняя глубина тоже оценивается неоднозначно – от 186 до 229 м [1-3].

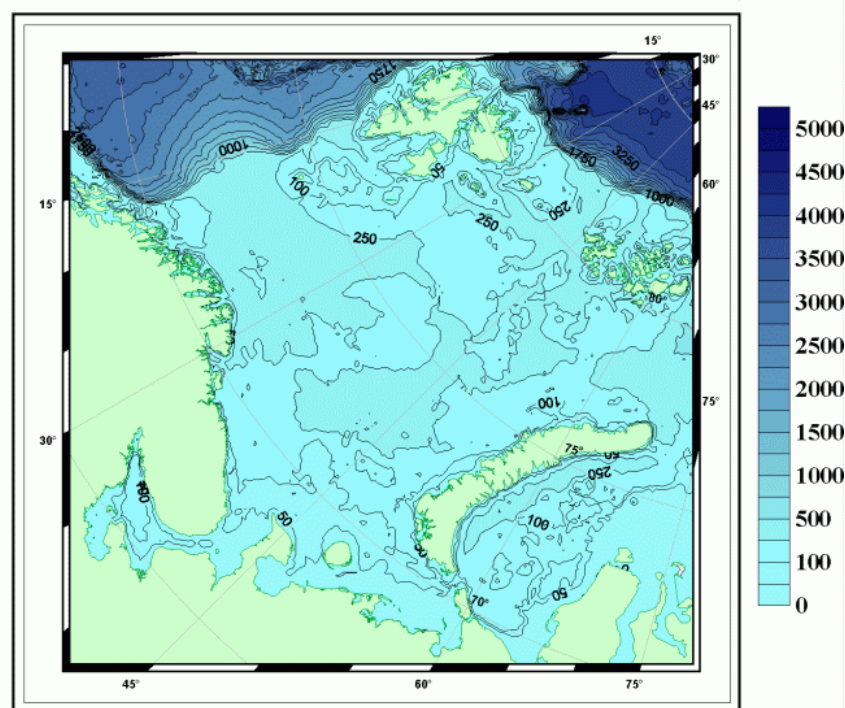


Рисунок 1.1– Карта глубин Баренцева моря [2]

Типы берегов очень разнообразны, причиной является разнообразными сочетаниями геоморфологических и гидрологических факторов. Берега Скандинавского полуострова и архипелага Новая Земля расчленены большим количеством фьордов, бухт и заливов. При этом, береговая линия Кольского полуострова сравнительно гладкая [1]. Встречаются ледяные берега, стекающие в море на Новоземельских горах, Земле Франца-Иосифа и на Шпицбергене. Длина береговой линии составляет около 6645 км [2].

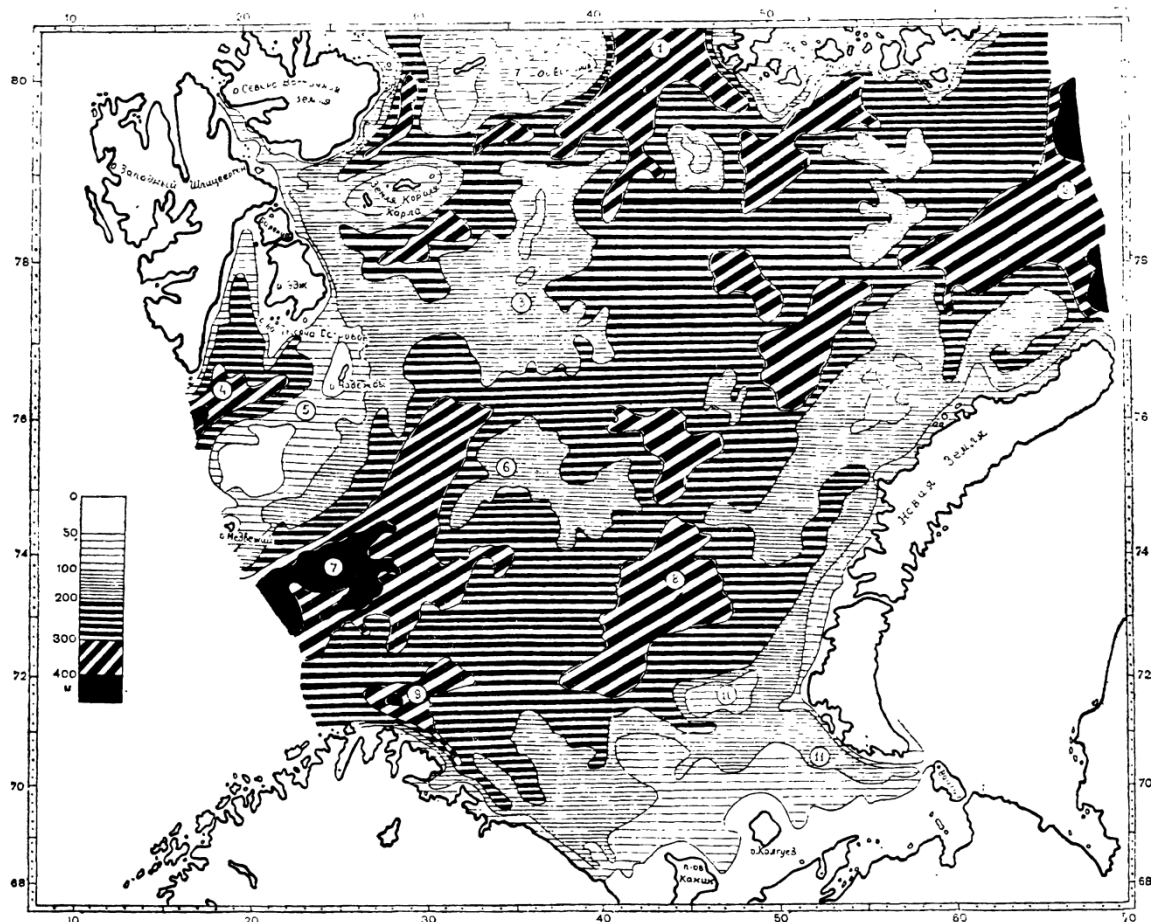


Рисунок 1.2 – Элементы рельефа Баренцева моря [1]:

1 – желоб Франца-Виктории; 2 – желоб Святой Анны; 3 – возвышенность Персея; 4 – Зюндкапский желоб; 5 – Шпицбергенская банка и Центральная возвышенность; 7 – Медвежинский желоб; 8 – Центральная впадина; 9 – Норвежский желоб; 10 – Гусиная банка; 11 – Новоземельский желоб.

Баренцево море расположено на шельфе Северного Ледовитого океана. В юго-восточной и северо-западной части моря прибрежные мелководья имеют



глубину около 50 метров, в других областях глубина сильно изменяется до 100-200 м уже на расстоянии несколько десятков километров от берега. Дно является сильно расчлененным, с большими перепадами глубин [1]. Это хорошо заметно на картах рельефа дна (рисунок 1.1). Дно имеет равнинно-платформенное строение, основными формами рельефа являются возвышенности и равнины.

## 1.2 Гидрологическая характеристика

Площадь водосборного бассейна составляет 668 тысяч км<sup>2</sup> [1]. Его границы показаны на рисунке 1.3. Разные источники предоставляют различные данные об объеме годового стока в Баренцево море. В работе [3] сообщается о 163 км<sup>3</sup>/год, в работе [1] эта цифра составляет 263 км<sup>3</sup>/год. Основной вклад в сток вносит река Печора, на которую приходится половина как водосборной площади (322 тысяч км<sup>2</sup>), так и годового стока (130 км<sup>3</sup>/год). Практически весь остальной вклад вносят реки Кольского полуострова и Скандинавии. Сток с арктических островов сложно поддается оценке, но в работе [1] приводятся данные о суммарном речном стоке с поверхности островов (без разделения по бассейнам морей и без учета айсбергов) – с архипелага Шпицберген 35,5 км<sup>3</sup>/год, с Земли Франца-Иосифа – 3,65 км<sup>3</sup>/год, с Новой Земли 32,5 км<sup>3</sup>/год. Питание рек водосборного бассейна определяется как снеговое или смешанное, но с преобладанием снегового [1]. При этом существенное влияние речного стока на гидрологический режим моря наблюдают только в его юго-восточной части, которую называют Печорским морем [3].

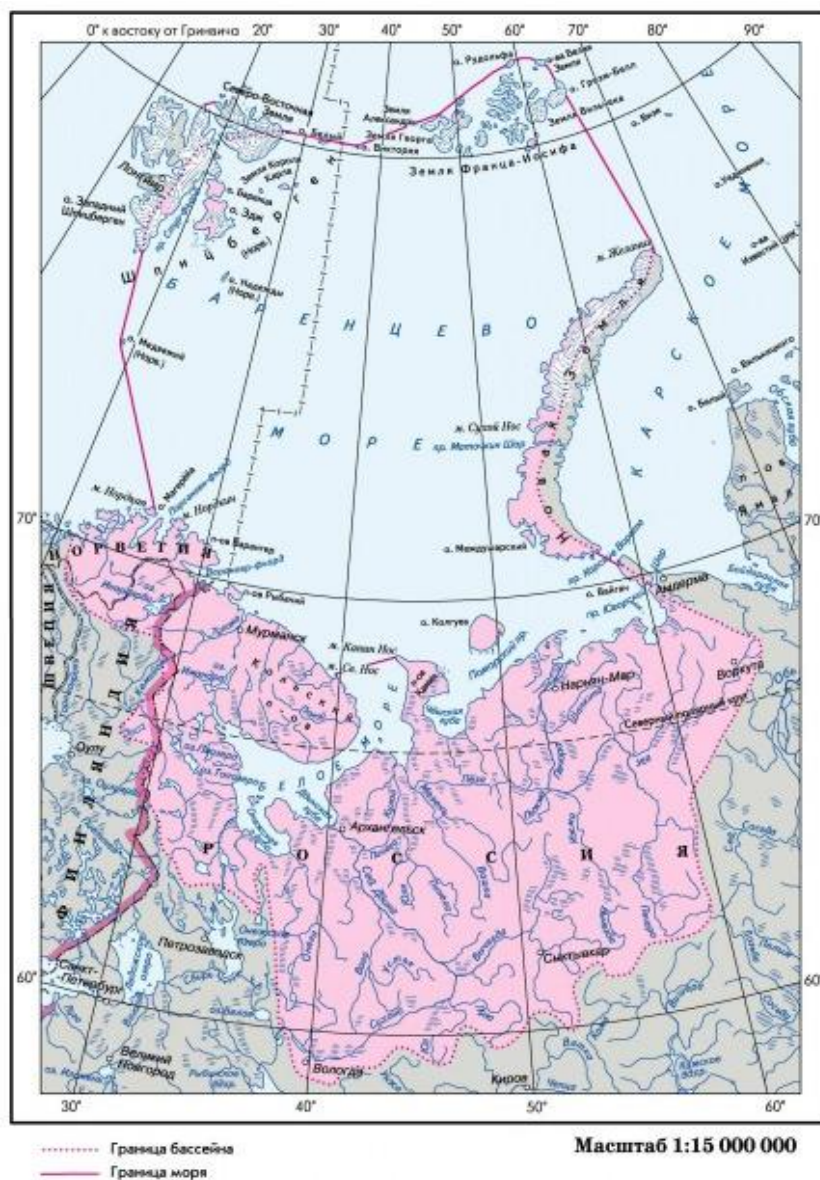


Рисунок 1.3 – Бассейн Баренцева моря [4]

Вся циркуляция вод Баренцева моря формируется в результате совместного влияния ветра, затоков вод соседних бассейнов, приливов, донной топографии и других факторов, что делает этот процесс сложным и изменчивым во времени. В Баренцевом море, как и в других морях северного полушария, существует общее стремление вод к движению по часовой стрелке, усложненное разнонаправленными течениями с разными скоростями [3].

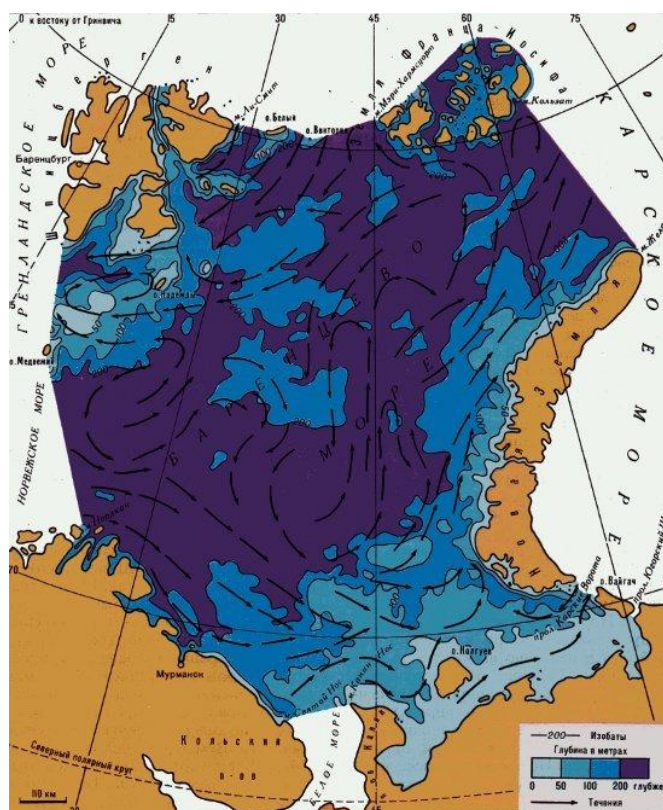


Рисунок 1.4 –Рельеф дна и течения Баренцева моря[5]

Особенностью Баренцева моря является свободный водообмен при отсутствии естественного подводного барьера. Центральная впадина и Новоземельский желоб хоть и затрудняют горизонтальный водообмен, тем не менее, это не приводит к образованию отдельных водных масс. Поэтому градиенты гидрологических характеристик в большей степени зависят от различия условий в юго-восточной, северной и западной части моря и интенсивности вертикального и горизонтального перемешивания, чем от морфометрии дна. В работе [1] приведена классификация водных масс, изложенная в монографии А. Д. Добровольского и Б. С. Залогина, где было предложено выделять четыре водные массы в Баренцевом море:

1. теплые и соленые атлантические воды, поступающие как поверхностные течения с запада и как глубинные - с севера и северо-востока;

2. холодные арктические воды с отрицательными температурами и низкими значениями солености, приходящие в виде поверхностных течений с севера;
3. воды прибрежных районов, образованные материковым стоком и опресненными прибрежными течениями, характеризующиеся большими амплитудами годового хода температурной изменчивости и низкими значениями солености;
4. собственно баренцевоморские воды, отличительной особенностью которых является низкая температура и высокая соленость, образованные в результате смешения и трансформации под влиянием местных условий, водных масс, приходящих извне.

### 1.3 Ледовитость

Уникальность Баренцева моря заключается в том, что оно является единственным морем Арктики, никогда не покрываемым полностью льдом. Как уже было сказано выше, это следствие влияния теплых вод Атлантики. Обмен льдами с соседними морями невелик по отношению к площадям и объемам льда всего моря, однако он играет важную роль в ледовитости южных, юго-восточных и приграничных северных и северо-восточных районах. В основном ледообмен с Арктическим бассейном происходит через проливы Шиллинга (между Шпицбергенем и землей Франца-Иосифа), Макарова (между Землей Франца-Иосифа и Новой землей), с Карским морем через Карские ворота и с Белым морем через акваторию между мысами Святой Нос и Канин Нос [1].

Расчеты ледообмена отличаются от автора к автору. В работе [1] описываются различные результаты оценок отношения выноса и приноса льда через вышеуказанные проливы. По материалам всех авторов делается вывод о том, что обмен льдом с Арктическим бассейном имеет следующий характер:

вынос в единицах площади преобладает над приносом, но для объема отношение обратное. Это объясняется тем, что в результате ледообмена происходит вынос молодых льдов – начальных и однолетних, а приносятся из Арктики толстые двухлетние льды. Приводится вывод о том, что в Баренцевом море преобладает принос льдов, который составляет 50-60 км<sup>2</sup> и 150-180 км<sup>3</sup>.

Дрейф льда обусловлен действием постоянных течений и преобладающих ветров. В зимнее время акватория подвергается действию южных и юго-восточных ветров, что приводит к движению льда на север, и как следствие, в результате сильного потока из Северного Ледовитого океана и Карского моря, к образованию областей высокого сжатия и торошения. В теплые месяцы преобладающие ветра имеют северное направление, результатом чего является движение льдов на юг, где они, оказываясь под влиянием теплых вод и солнечной радиации быстро разрушаются[1].

Начало зимнего ледообразования имеет широтную зависимость. Раньше всего лед начинает образовываться в северной части моря в сентябре, в центральном районе моря в октябре, и позже всего, в ноябре, на юго-востоке. Преобладающий тип льда – плавучий, припай же развит слабо. В течение зимы лед распространяется с востока на запад и с севера на юг. Заканчивается нарастание с наступлением апреля. Дальше следует период таяния и разряжения льдов, отступление кромки на восток и север под действием солнечной радиации и адвективного притока тепла[2].

Согласно [2], изменение неоднородной ледовитости Баренцева моря связано с интенсивностью Нордкапского течения, циркуляцией атмосферы и, в целом, с изменением климата Арктики.

#### 1.4 Климатические условия

Значительное влияние, как на гидрологический, так и на климатический режим Баренцева моря оказывает приток теплых и соленых вод Атлантики.

Годовой приток оценивают в 74 тысячи км<sup>3</sup>/год. Из приносимого океанской водой тепла только 12% теряется в результате обмена с соседствующими с морем акваториями, а оставшиеся 88% остаются и согревают Баренцево море [3]. Благодаря этому обширная область от юго-западного и южного берега весь год свободна от льдов и имеет положительные значения температуры. По сравнению с другими арктическими морями, Баренцево море имеет высокие температуры воздуха и воды [2]. В самые теплые месяцы лета температура воздуха в западной и центральной части моря от 8 до 9°C, в юго-восточной области около 7°C, на севере от 4 до 6°C [3].

Сезонная изменчивость характеристик составляющих теплового баланса показана на рисунке 1.5

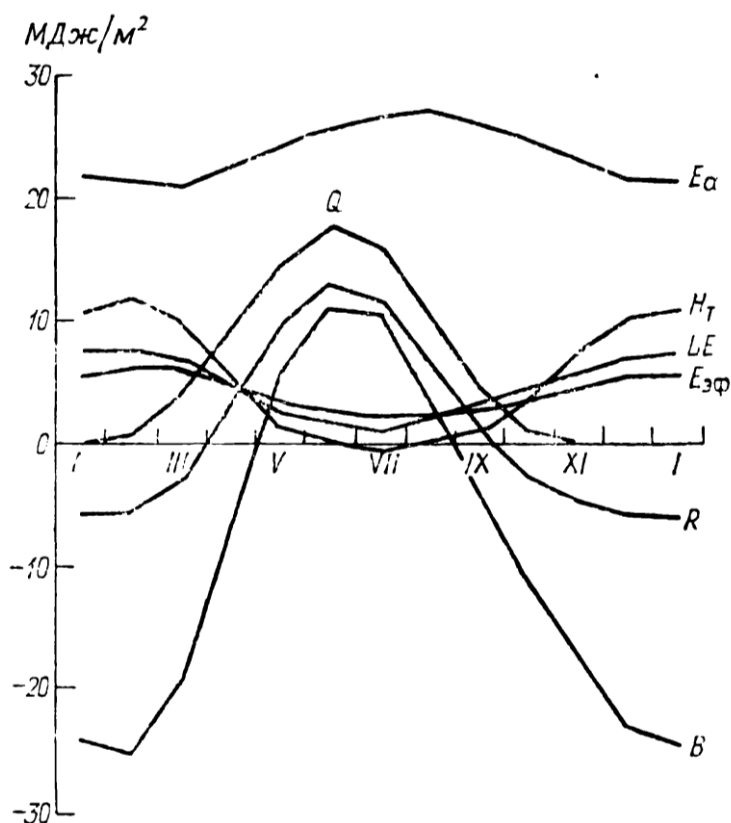


Рисунок 1.5 Годовой ход суточных составляющих теплового баланса поверхности южной части Баренцева моря [2].

В результате, Баренцево море можно разделять на следующие климатические регионы:

1. Юго-западный, находящийся под влиянием теплых вод Нордкапского течения, имеющий максимальные значения температуры воды, стабильные значениями температуры воздуха (около  $-2^{\circ}\text{C}$  зимой и  $8^{\circ}\text{C}$  летом).

2. Юго-восточный, где происходит частая смена теплых атлантических воздушных масс холодными, приходящими с Евразийского континента, что вызывает значительные температурные перепады. Здесь также присутствует влияние холодных вод Карского моря. Средние температуры воздуха составляют  $7^{\circ}\text{C}$  летом и  $-7^{\circ}\text{C}$  зимой.

3. Северо-западный, на который оказывает большое влияние близость к Северному Ледовитому океану. Здесь зимние температуры воздуха составляют около  $-22^{\circ}\text{C}$ .

4. Центральный регион, также включающий в себя северо-восточную часть моря, испытывающий влияние атлантических вод, приходящих с Северной и Колгуево-Новоземельской ветвями Нордкапского течения, и атлантических воздушных масс, что приводит к перепадам температуры в летний период от  $3^{\circ}\text{C}$  до  $5^{\circ}\text{C}$  в центральном район и от  $1^{\circ}\text{C}$  до  $3^{\circ}\text{C}$  в северо-восточном. В зимний период среднемесячные температуры изменяются от  $-4^{\circ}\text{C}$  до  $-10^{\circ}$  в центральном районе,  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $-20^{\circ}\text{C}$  в восточном районе [2].

### 1.5 Краткая характеристика Гренландского моря

Гренландское море расположено у восточных берегов острова Гренландия, соседствуя с Баренцевым морем, граница с которым определена западным берегом Шпицбергена. Граница Гренландского моря с Норвежским проводится от острова Медвежий до острова Ян-Майен и от него до восточного берега Исландии. На севере Гренландское море отделяется от Северного Ледовитого океана условной линией от северной оконечности Шпицбергена до северной оконечности Гренландии (рисунок 1.6).

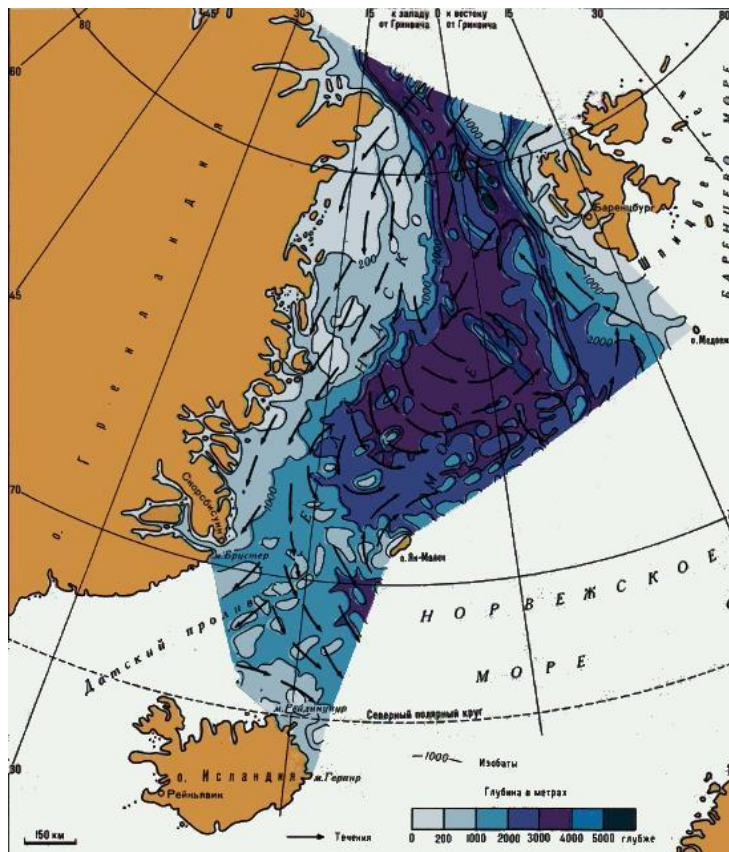


Рисунок 1.6—Рельеф дна и течения Гренландского моря [5]

На Гренландское море оказывает большое влияние его взаимодействие с Северным Ледовитым океаном, откуда с Восточно-Гренландским течением поступают холодные арктические воды. Одновременно, с юга, в Гренландское море Норвежским течением приносятся теплые воды Атлантики, часть которых, дойдя до Шпицбергена и объединившись с арктическими водами образуют круговорот, направленный против часовой стрелки. В результате в Гренландском море образуется три типа вод – холодные опресненные воды восточно-гренландского типа, образованные арктическими водами, воды гренландского типа, на которые влияние оказали более теплые и соленые воды Атлантики, и шпицбергенские воды, расположенные в северной части моря и образованные смешением атлантических и арктических вод.

Лед в Гренландском море наблюдается круглый год и для акватории характерна большая ледовитость. Кроме местного однолетнего и многолетнего льда, наблюдается лед, приносимый Восточно-Гренландским течением из



Северного Ледовитого океана. Встречаются айсберги, образованные из ледового покрова Восточной Гренландии [5].

### 1.6 Краткая характеристика Норвежского моря

Норвежское море граничит на северо-востоке с Баренцевым морем, а на севере и северо-западе с Норвежским. На востоке оно омывает западный берег Скандинавского полуострова. Южная граница проходит по линии остров Утене – Шетландские острова – Фарерские острова – восточная оконечность Исландии (рисунок 1.7).

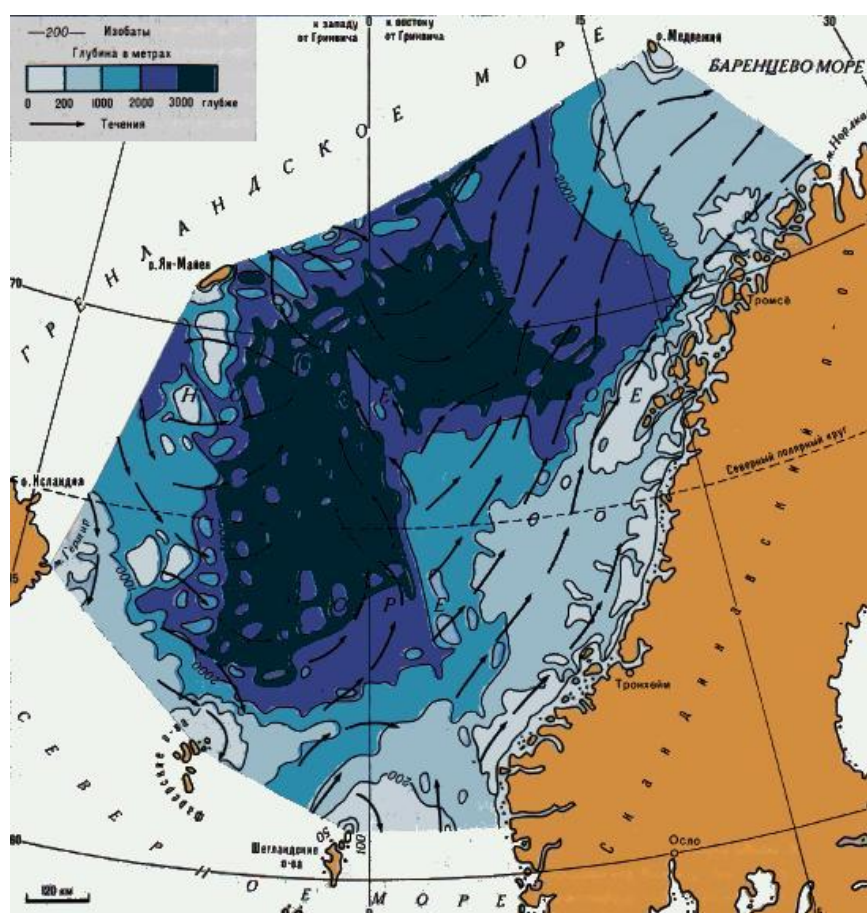


Рисунок 1.7 –Рельеф дна и течения Норвежского моря [6]

В Норвежском море выделяют два типа вод. Скандинавский тип, сформированный водами Атлантического океана, образующими Норвежское течение, имеет положительную температуру. Относительно более холодный

гренландский тип находится в западной части моря, гранича с Гренландским морем и образуя зоны смешения вод разных типов.

Лед в Норвежском море, несмотря на влияние атлантических вод, все же встречается на границах с Гренландским и Баренцевым морем в зимний период, представляя собой местный лед, образованный у острова Медвежий, Шпицбергена и дрейфующий лед из Баренцева и Гренландского морей[6].

## 2 Материалы и методы исследования

### 2.1 Исходные данные

В качестве исходных данных были использованы ежемесячные данные сплоченности льдов Баренцева моря в период с апреля 1982 года по сентябрь 2016 гг. Использовались данные Национального управления океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) ([http://apdrc.soest.hawaii.edu/dods/public\\_data/NOAA\\_SST/OISST2/](http://apdrc.soest.hawaii.edu/dods/public_data/NOAA_SST/OISST2/)), полученные методом оптимальной интерполяции (Optimum Interpolation (OI)). Метод оптимальной интерполяции представляет собой анализ, использующий объединенные наблюдения из разных платформ (спутники, корабли, буи) на регулярной глобальной сети.

Границы области исследования: 64,5° с.ш. - 82,5° с.ш., 20,5° з.д. – 69° в.д. Как можно видеть, данная область включает в себя не только акваторию Баренцева моря, но и, в целом, почти всю северо-восточную Арктику. Дискретность сетки – 1°×1°.

Было проведено осреднение данных для летнего и зимнего сезонов. Их разделение осуществлялось согласно ходу радиационного баланса Баренцева моря – положительные значения с апреля по сентябрь (лето) и отрицательные с октября по март (зима) (годовой ход радиационного баланса приведен в разделе 1.4).

Для подготовки данных, а также для их последующей обработки использовалась программа-сортировщик, написанная на языке FORTRAN, код которой приведен в Приложении А.

Далее в программе Microsoft Excel была проведена работа по удалению нерепрезентативных точек, то есть точек сетки, расположенных на суше и тех точек, где за весь период исследований не наблюдалось льдов. Это осуществлялось методом фильтрации.

Для оценки связи сплоченности с другими гидрометеорологическими характеристиками привлекались следующие временные ряды. Ежемесячные значения климатических индексов были получены с сайта Королевского Нидерландского метеорологического института (The Royal Netherlands Meteorological Institut) (<https://climexp.knmi.nl/selectindex.cgi>). Они также усреднялись до летнего и зимнего сезона. Использовались следующие характеристики:

1. Индекс североатлантического колебания (САК), рассчитываемый Центром прогнозирования климата Национальное управление океанических и атмосферных исследований (CPCNOAA) на основе главных компонент. Сущность индекса заключается в разности приземного давления между исландским минимумом и азорским максимумом. Положительные значения колебания соответствуют усиленной циркуляции атмосферы, преобладанию западных ветров, как результат – более теплая зима и прохладное лето. В работе [7] сообщается, что преобладание положительной фазы САК приводит к смещению кромки льдов Баренцева моря к северо-востоку, а в Гренландском море – в северу.

2. Индекс арктической осцилляции (АО), который определяется отношением аномалий давления в Арктике к аномалиям давления в средних широтах северного полушария (37-45°с.ш.). Положительный индекс АО (наименьшие значения давления в Арктике) наблюдается в периоды, когда усиливается активность западных ветров в Северной Атлантике, погода становится теплее и влажнее. В период отрицательных значений индекса АО (наибольшие значения давления в Арктике) происходит вынос холодных арктических воздушных масс в средние широты.

3. Временная изменчивость солнечной постоянной. Эта характеристика представляет собой интегральную мощность излучения Солнца, которая проходит через единичную площадку. Постоянная имеет годовую изменчивость, связанную с вращением Земли вокруг Солнца и 11-летнюю, связанную с циклом солнечной активности.

4. Аномалии средней температуры в стометровом слое все северной части Атлантического океана.

5. Комбинированный индекс аномалий температуры поверхности моря и приземной температуры воздуха для северного полушария (Land-OceanTemperatureIndex, LOTI), разработанный Институтом космических исследований имени Годдарда (GISS). Индекс использует данные Глобальной исторической климатологической сети (GHCN) и ряд других источников данных, восстанавливая недостающие данные с радиусом сглаживания 1200 км.

## 2.2 Статистические методы исследования

### 2.2.1 Кластерный анализ

Кластерный анализ – это методы многомерной статистической классификации объектов, заключающийся в разделении всей совокупности объектов на некие однородные группы, внутри которых будут находиться элементы, близкие по некоторому критерию. Такая группа называется кластер.

Определение количества классов проводится по иерархическому дереву, представляющему собой горизонтальную древовидную диаграмму, которая начинается с каждого объекта в классе. Дальше происходит агрегация объектов, отличающихся друг от друга сначала в меньшей степени, а по мере объединения в большей степени. Для каждого узла в графе, основания ветви кластера, существует значение величины расстояния. В результате анализа и построения иерархического дерева становится возможным обнаружить кластер [8].

Существуют разные методы вычисления расстояний между объектами в многомерном пространстве. В данной работе в качестве метрики использовался коэффициент Пирсона (для определения расстояния используется выражение  $1-R$ ), применяемый для объединения объектов в классы по принципу схожей временной изменчивости.

В данной работе кластерный анализ проводился в программе STATISTICA.

### 2.2.1 Выделение и анализ временного тренда

Тренд отражает наличие в исследуемом ряду длиннопериодного колебания, превышающего длину выборки. Тренд может быть линейным (уравнение:  $y = a_1 t + a_0$ , где  $y$  – исследуемая характеристика,  $t$  – время) и нелинейным ( $y = a_2 t^2 + a_2 t + a_0$ , где  $t$  – время,  $y$  – исследуемая характеристика).

Оценка значимости тренда (значимости вклада тренда в общую дисперсию ряда) основывается на определении коэффициента детерминации  $R^2$  и проверке его с помощью критерия Стьюдента. Тренд является значимым, если выборочное значение критерия ( $t^* = R/\sigma_R$ , где  $\sigma_R$  – стандартное отклонение распределения коэффициентов корреляции генеральной совокупности, больше значения  $t_{кр}$  (при уровне значимости 5% и числе степеней свободы, равным  $N-1$ , где  $N$  – длина ряда).

Величина тренда  $a_1$  определяется как изменение характеристики по линейному тренду за единицу времени [9].

Выделение и анализ тренда осуществлялся в программе Excel.

### 2.2.2 Спектральный анализ

С помощью спектрального анализа становится возможным оценить присутствие циклических составляющих в исследуемом процессе. В основе спектрального анализа лежит тот факт, что является возможным разложение любого ряда в ряд Фурье, то есть полной совокупности гармоник. Физический смысл спектрального анализа состоит в том, что он показывает вклад каждой гармоники в общую дисперсию ряда. В результате спектрального анализа

становится возможным определить в исходном ряде некоторое количество циклов различной длины.

Уравнение  $k$ -ой гармоники:

$$G_k = A_k \cos(\omega_k t - \varphi_k),$$

$$\omega_k = 2\pi/T_k,$$

где  $A_k$  – амплитуда гармоники  $k$

$\omega_k$  – частота гармоники  $k$

$T_k$  – период гармоники  $k$

$\varphi_k$  – фаза гармоники  $k$

$t$  - время

Количество гармоник  $k$  зависит от длины ряда и равно половине длины исходного ряда. Вклад гармоники в общую дисперсию ряда оценивается коэффициентом  $V_k = D_k/D_y$ , где  $D_k$  – дисперсия гармоники,  $D_y$  – дисперсия исходного ряда. Проверка на значимость осуществляется при помощи критерия Стьюдента [9,10].

В данной работе спектральный анализ проводился в программе STATISTICA.

### 2.2.3 Вейвлет-анализ

Вейвлетный анализ представляет собой особый тип линейного преобразования сигналов и отображаемых этими сигналами физических данных о процессах и физических свойствах природных сред и объектов. Он позволяет выявлять и наглядно показывать структуру процесса, который описывает анализируемая функция, и дает информацию о характерных масштабах процесса [11]. Сущность вейвлет-преобразования состоит в вычислении корреляций между временным рядом исследуемой характеристики и базисной функцией [12]. Базисной функцией был выбран вейвлет Морле 6 порядка, так как он подходит для исследования климатических процессов [13].

В данной работе вейвлет-анализ проводился в программе Past3.

### 3 Районирование Баренцева моря и прилегающей акватории по изменчивости сплоченности

В связи с тем, что исходные данные представляли собой большой массив информации, внутригодовое распределение сплоченности было разделено на зимнюю и летнюю составляющую по признаку роста и убыли количества льда. Для этого в разных точках моря были рассмотрены временные ряды и выявлено, что максимум сплоченности приходится на март-апрель, а минимум на период с августа по октябрь в зависимости от широты, поэтому зимним сезоном были определены месяцы с октября по март, летним – с апреля по сентябрь. Далее работа велась отдельно для летнего и зимнего сезона.

После этого была выполнена предварительная фильтрация данных, целью которой было удаление из исследования точек, где льда в период исследования никогда не наблюдалось. На рисунке 3.2 видно, что область чистой воды в летний период распространяется от северного берега Скандинавского полуострова в центральную часть Баренцева моря до  $75^{\circ}$ с.ш., западных островов архипелага Шпицберген ( $79^{\circ}$  с.ш.) до Исландии. В зимний период (рисунок 3.4) кромка льдов смещается на юг до  $74^{\circ}$ с.ш. в Баренцевом море и  $78^{\circ}$ с.ш. у Шпицбергена.

#### 3.1 Районирование региона по временной изменчивости

Следующим этапом был проведен кластерный анализ с целью разделения ледяного покрова акватории на классы по признаку схожей временной изменчивости сплоченности в группе.

Для каждого сезона было проведено осреднение значений с целью получить временные ряды изменчивости сплоченности в классе для выявления тренда и спектрального анализа.



Для классификации летней сплоченности акватории была построена дендрограмма классификации методом Уорда с метрикой 1-R (рисунок 3.1).

Видно, что данные хорошо разделяются на два класса. Класс 1 занимает северную часть Гренландского моря и прилегающую к нему часть Северного Ледовитого океана. На рисунке 3.2 он представлен красным цветом. Второй класс занимает всю остальную акваторию. Далее он разделился на атлантическую часть, класс 2.1 (голубой цвет) и баренцевоморскую часть, которая, в свою очередь была разделена на классы 2.2.1 – северный баренцевоморский район (зеленый) и 2.2.2 центрально-восточный баренцевоморский район (розовый цвет).

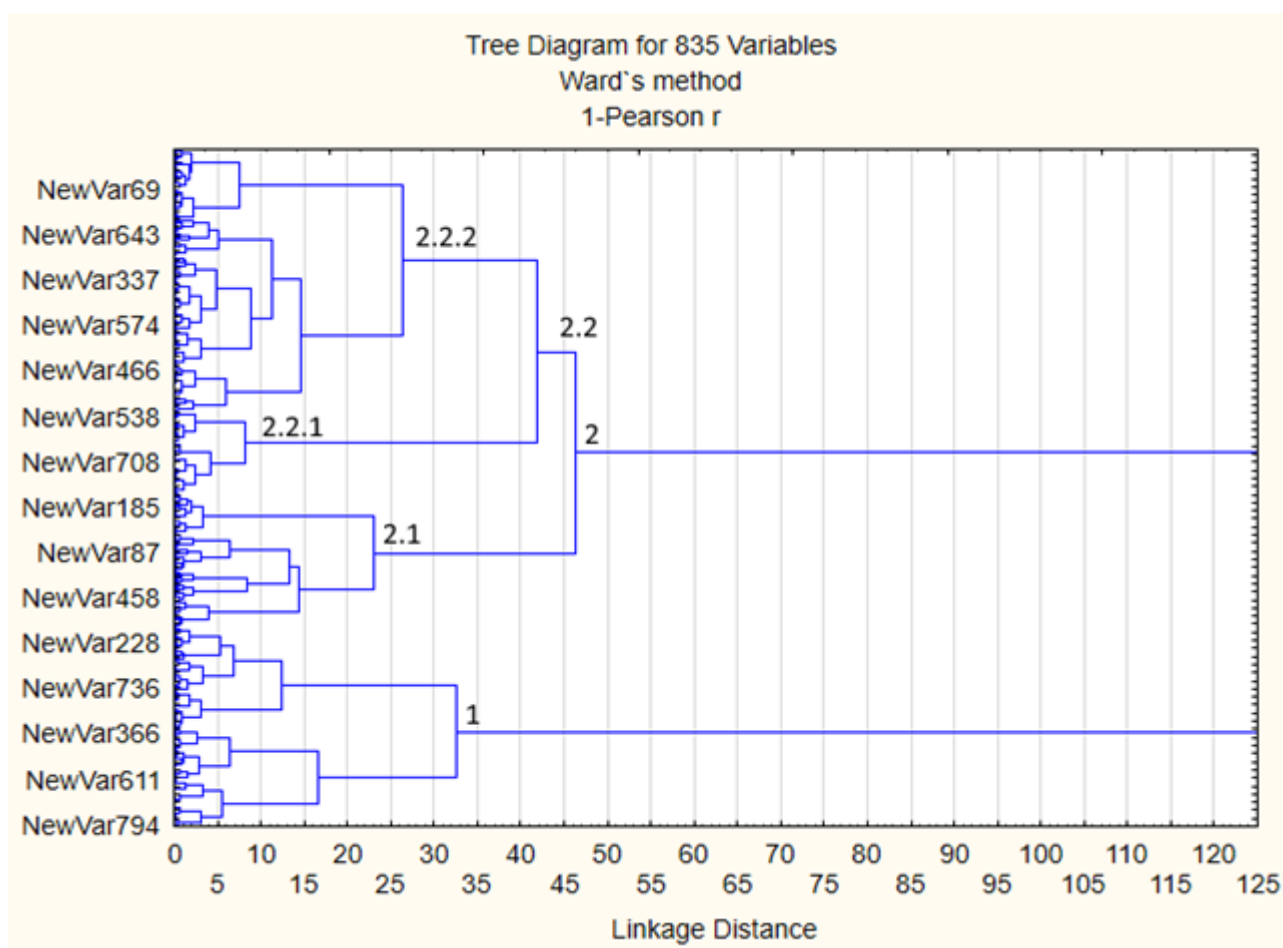


Рисунок 3.1 Дендрограмма классификации по изменчивости сплоченности (летний сезон)

Для определения конечного количества классов на каждом этапе классификации между данными сплоченности каждого класса строилась

матрица корреляции (таблица 3.1). Разделение продолжалось до тех пор, пока корреляция между классами не опускалась ниже 0,60.

Таблица 3.1 – Матрица классификации по изменчивости сплоченности (летний сезон)

	Класс 1	Класс 2.1	Класс 2.2.1	Класс 2.2.2
Класс 1	1			
Класс 2.1	0,23	1		
Класс 2.2.1	0,30	0,32	1	
Класс 2.2.2	-0,10	0,50	0,59	1

Как можно видеть, разделение на четыре класса является целесообразным, так как связь между классами 2.2.1 и 2.2.2, выделяемыми в последнюю очередь, признана не значительной и дальнейшее разделение возможно, но не обязательно.

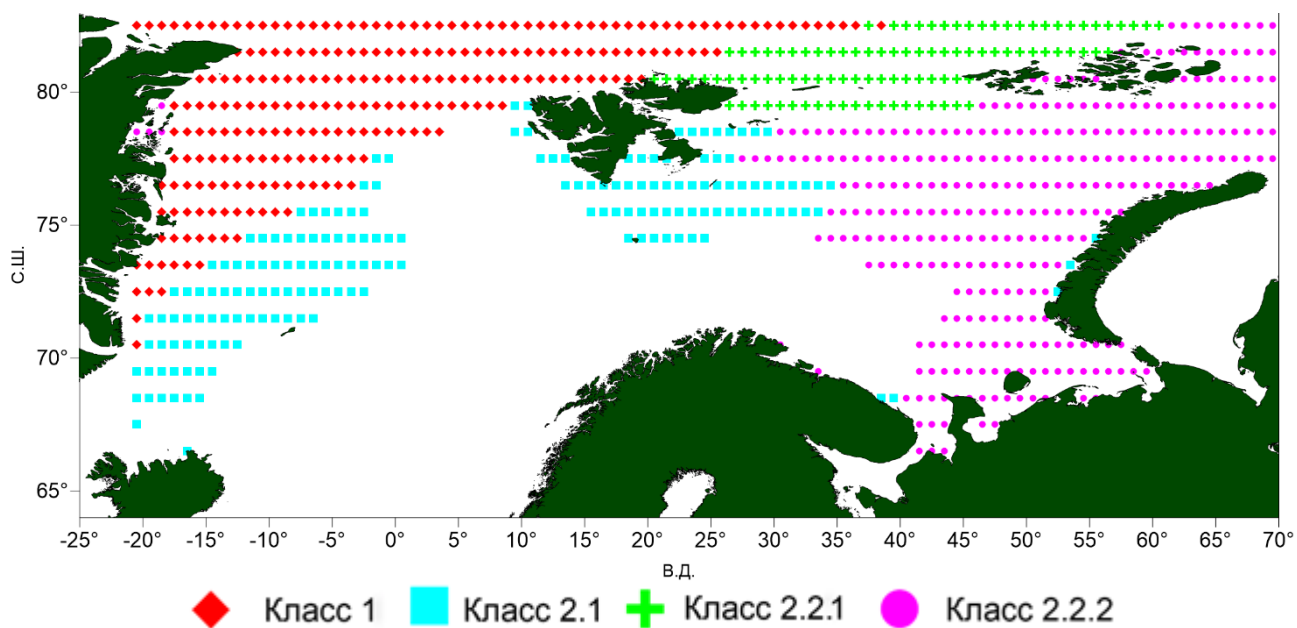


Рисунок 3.2– Распределение классов сплоченности на акватории северо-восточной Атлантики в летний сезон

Далее была проведена классификация зимних данных по сплоченности Баренцева моря.

В ходе выполнения классификации данных по зимней сплоченности акватории на дендрограмме (рисунок 3.3) сначала также было выделено два класса – класс 1 (на рисунке 3.4 показан красным цветом), льды восточной Гренландии и северной части Атлантики. Класс 2 занял оставшуюся акваторию, покрытую льдами, и далее разделился на класс 2.1 – льды севера Баренцева моря и прилегающей части Северного Ледовитого океана (зеленый цвет) и класс 2.2, который включил в себя акваторию, на которую оказывают влияние атлантические воды. Класс 2.2 был разделен на класс 2.2.1 –атлантический (голубой) и 2.2.2 – восточно-баренцевоморский (розовый).

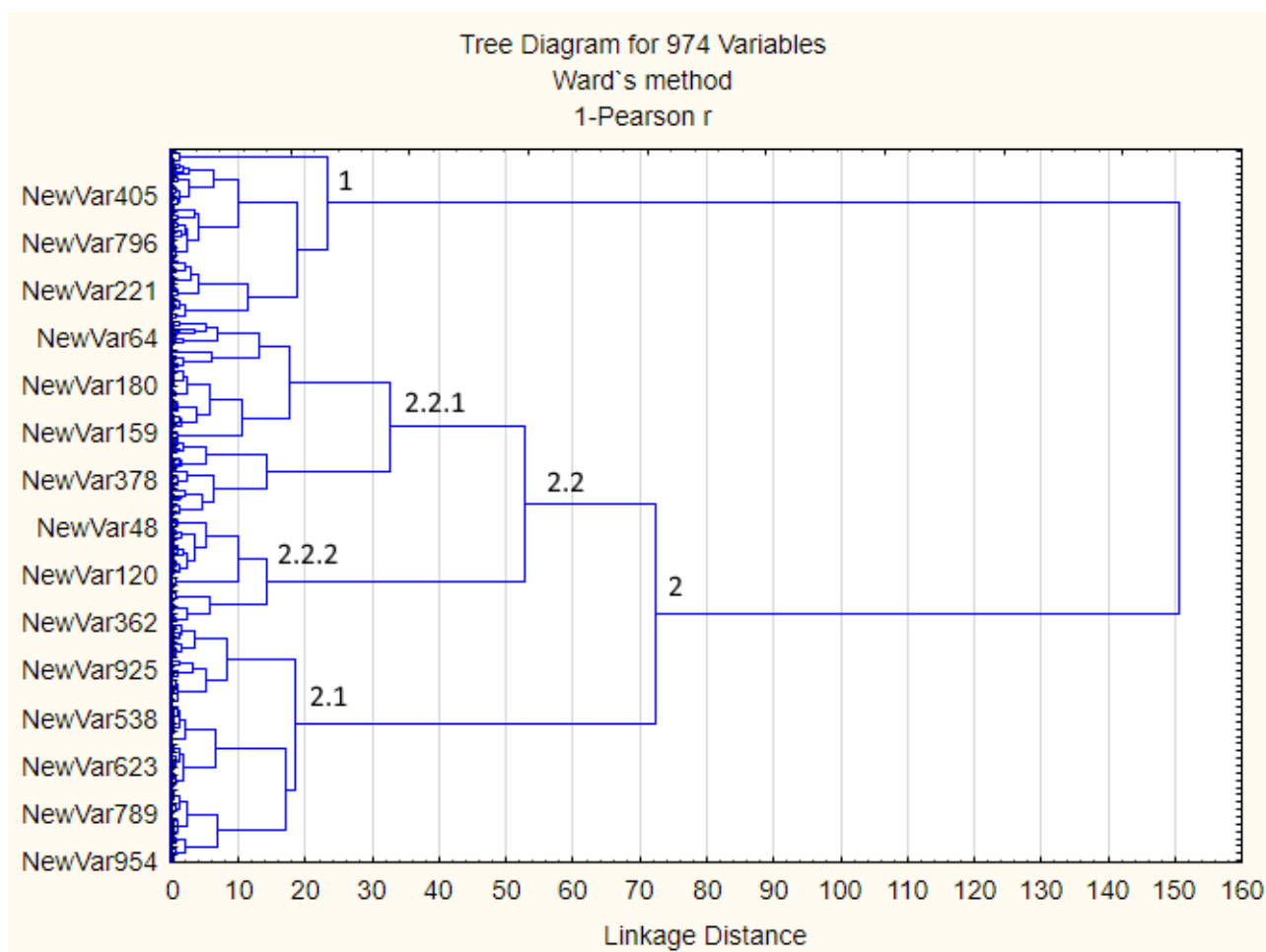


Рисунок 3.3– Дендрограмма классификации по изменчивости сплоченности (зимний сезон)

Матрица корреляции между классами, которая использовалась для определения конечного количества классов представлена в таблице 3.2. Класс 2.1 имеет корреляцию 0.67 с классом 2.2.1 и 0.47 с классом 2.2.2.

Таблица 3.2– Матрица классификации по изменчивости сплоченности (зимний сезон)

	Класс 1	Класс 2.1	Класс 2.2.1	Класс 2.2.2
Класс 1	1			
Класс 2.1	-0,06	1		
Класс 2.2.1	0,17	0,67	1	
Класс 2.2.2	-0,06	0,47	0,41	1

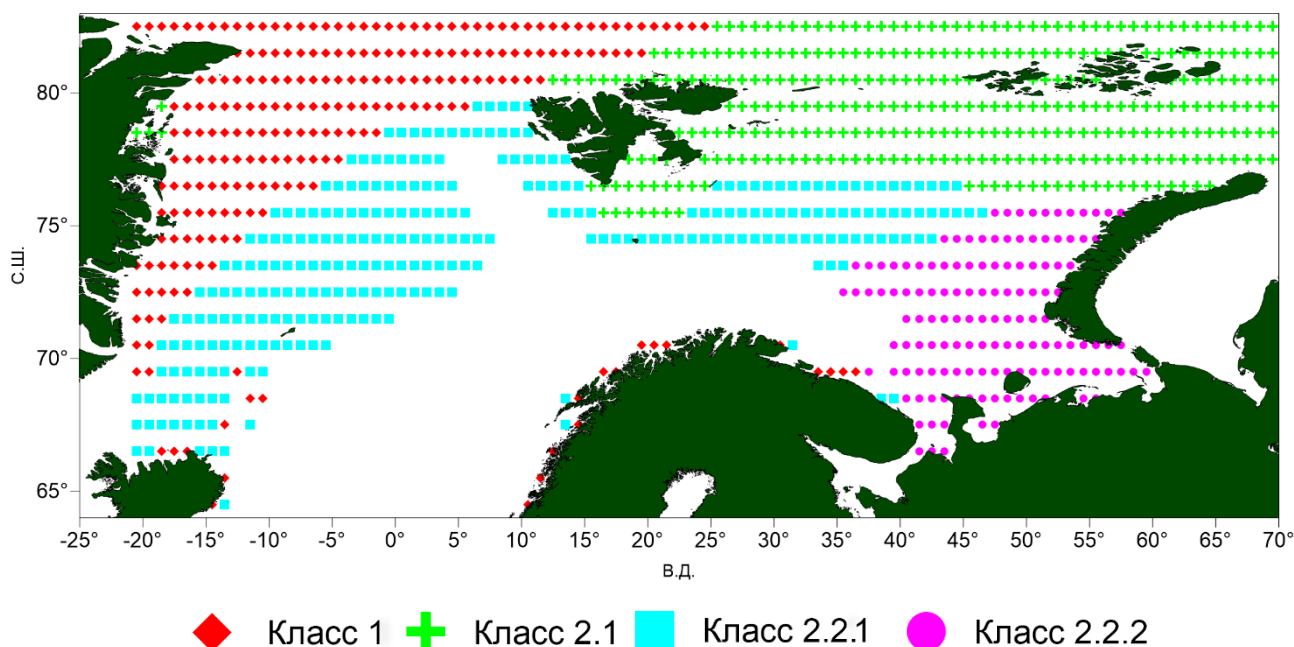


Рисунок 3.4– Распределение классов сплоченности на акватории северо-восточной Атлантики в зимний период

Заметно, что полученные с помощью классификации районы типовой изменчивости сплоченности похожи. Невооруженным глазом это видно для гренландского района. Здесь разница между расположением класса в летний и зимний период практически отсутствует. Видно, что зимой граница северного баренцевоморского района проходит южнее и охватывает область шире, чем летом. Атлантический район летом занимает меньшую площадь, чем зимой.

Баренцевоморский район зимой занимает только центральную часть Баренцева моря, а зимой распространяется на северо-восток до Земли Франца-Иосифа.

### 3.2 Анализ временного тренда

Для выявления длиннопериодного колебания в каждом районе для летнего и зимнего сезона был найден линейный и нелинейный тренд. На рисунках 3.5 и 3.6 показана временная изменчивость сплоченности в каждом районе, приведены линии линейного и нелинейного тренда за летний и зимний сезоны, соответственно. В таблицах 3.3 и 3.4 приведены коэффициенты детерминации и уравнения тренда.

Можно видеть, что летом в гренландском районе происходит рост сплоченности со скоростью 0,24%/год. В остальных районах лед убывает с разной скоростью – быстрее в северном баренцевоморском районе со скоростью 0,50%/год, медленнее в центральном и восточном баренцевоморском районе, со скоростью 0,45%/год. Тренд в атлантическом районе не значим, то есть роста или уменьшения сплоченности на протяжении исследуемого периода не наблюдается.

Зимой в гренландском районе также наблюдается рост сплоченности, скорость 0,21%/год. В северном баренцевоморском районе сплоченность убывает со скоростью 0,66%/год, в атлантическом со скоростью 0,24%/год. В восточном баренцевоморском районе тренд не значим.

То есть можно сказать, что быстрее всего лед убывает в северном баренцевоморском районе. Рост сплоченности наблюдается в гренландском районе. Медленнее сплоченность убывает в атлантическом районе летом и в восточном баренцевоморском зимой.

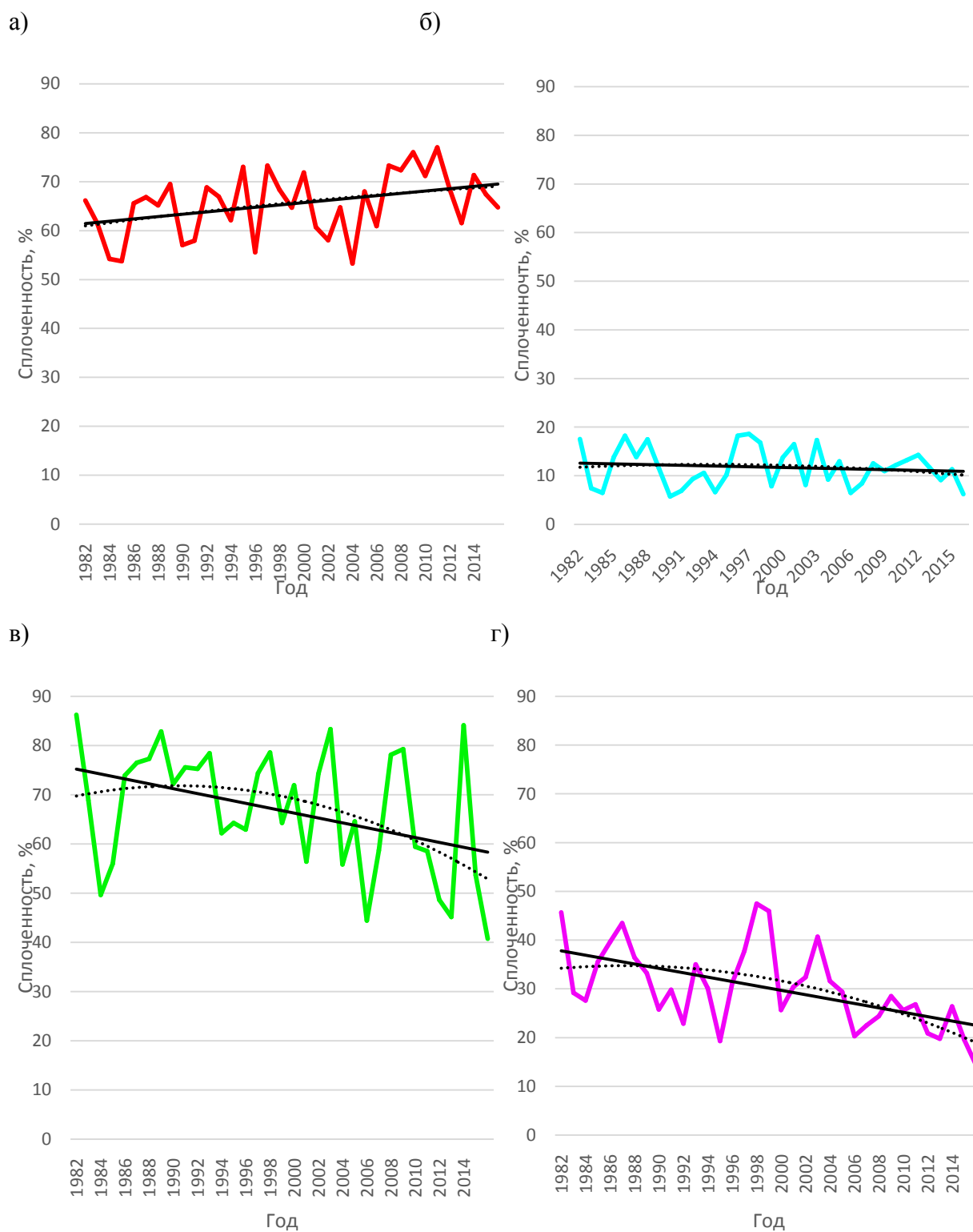


Рисунок 3.5 – Изменчивость сплоченности в летний период с 1982 по 2015 год:  
 а) Гренландский район б) Атлантический район в) Северном баренцевоморский район г) Центральный и восточный баренцевоморский район

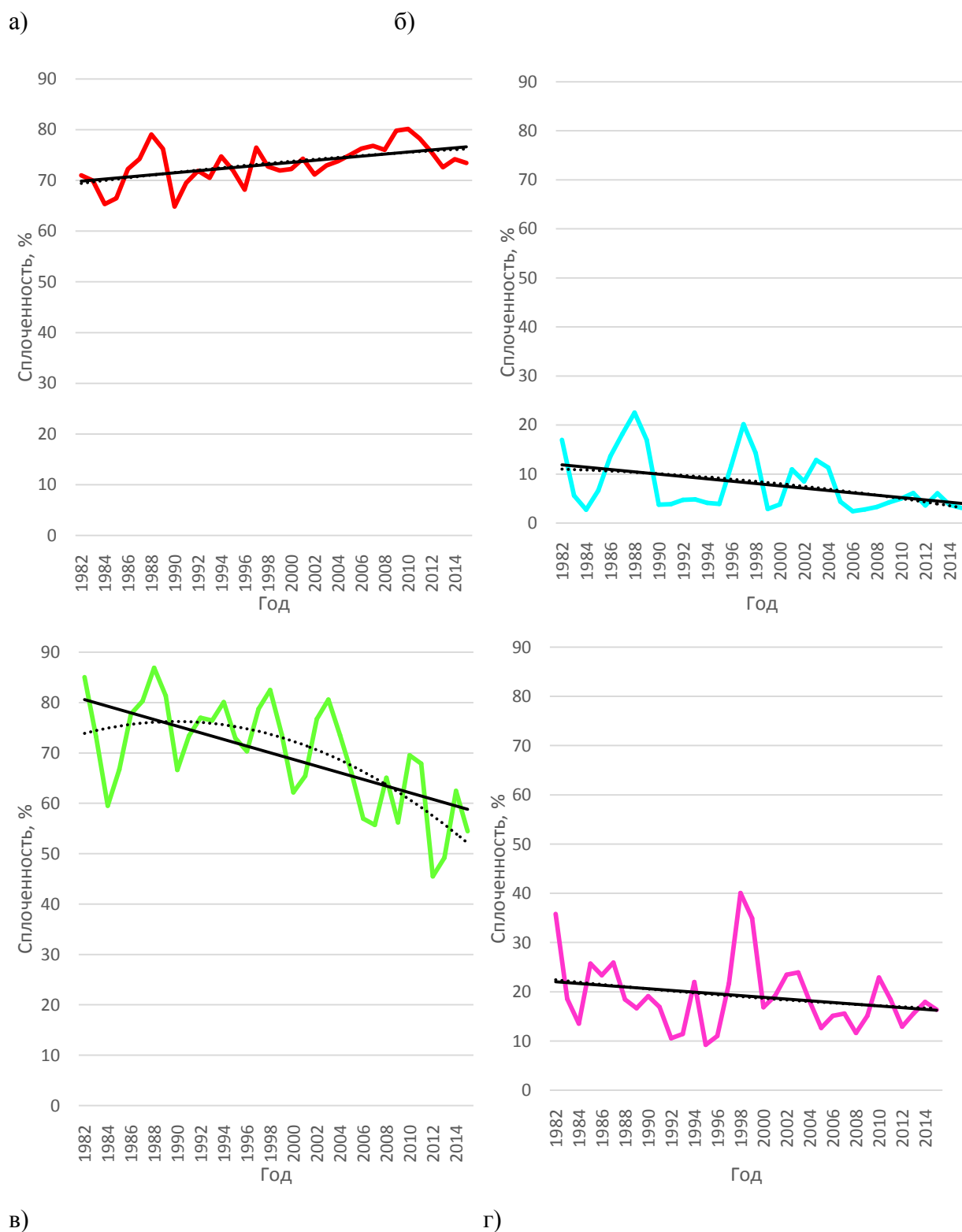


Рисунок 3.6 – Изменчивость сплоченности в зимний период с 1982 по 2015 год:  
 а) Гренландский район б) Атлантический район в) Северном баренцевоморский район г) Восточный баренцевоморский район

Таблица 3.3 – Характеристики трендов в разных районах Баренцева моря и прилегающей акватории в летний сезон (L–сплоченность, %; t - время)

Район	Линейный		Нелинейный	
	R <sup>2</sup>	Уравнение	R <sup>2</sup>	Уравнение
Гренландский	<b>0,14</b>	$L=0,24 \cdot t+61,2$	0,14	$L=-0,003 \cdot t^2+0,33 \cdot t+60,6$
Атлантический	0,02	$L=-0,05 \cdot t+12,6$	0,02	$L=-0,004 \cdot t^2+0,11 \cdot t+11,7$
Северный баренцевоморский	<b>0,16</b>	$L=-0,50 \cdot t+75,7$	0,21	$L=-0,03 \cdot t^2+0,60 \cdot t+69,2$
Центральный и восточный баренцевоморский	<b>0,31</b>	$L=-0,45 \cdot t+38,2$	0,35	$L=-0,02 \cdot t^2+0,02 \cdot t+34,0$

Таблица 3.4 – Характеристики трендов в разных районах Баренцева моря и прилегающей акватории в зимний сезон (L–сплоченность, %; t - время)

Район	Линейный		Нелинейный	
	R <sup>2</sup>	Уравнение	R <sup>2</sup>	Уравнение
Гренландский	<b>0,30</b>	$L=0,21 \cdot t+69,64$	0,30	$L=-0,002 \cdot t^2+0,29 \cdot t+69,1$
Атлантический	<b>0,17</b>	$L=-0,24 \cdot t+12,11$	0,17	$L=-0,005 \cdot t^2-0,069 \cdot t+11,1$
Северный баренцевоморский	<b>0,40</b>	$L=-0,66 \cdot t+81,26$	0,50	$L=-0,004 \cdot t^2+0,68 \cdot t+73,2$
Восточный баренцевоморский	0,06	$L=-0,18 \cdot t+22,22$	0,06	$L=0,002 \cdot t^2-0,25 \cdot t+22,7$

Таким образом, процесс роста льда в гренландском районе зимой и летом происходит с практически одинаковой скоростью. В атлантическом районе уменьшение сплоченности зимой происходит активнее, чем летом, где длиннопериодная изменчивость не была выявлена. В северном баренцевоморском районе также зимой сплоченность убывает быстрее, чем летом. В центральном и восточном баренцевоморском районе летом сплоченность уменьшается, зимой же в восточном районе изменение сплоченности не выявлено.

### 3.3 Спектральный анализ



Для нахождения циклических колебаний в исследуемых рядах был проведен спектральный анализ. Значимые гармоники и их характеристики были занесены в таблицы 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5– Характеристики значимых гармоник разных районах Баренцева моря и прилегающей акватории за летний сезон ( $\omega$  – частота колебания,  $A$  – амплитуда колебания,  $V$  – вклад гармоники в дисперсию ряда)

Район	Период, лет	$\omega$ , год <sup>-1</sup>	$A$ , %	$V$
Гренландский	17,00	0,37	2,94	0,12
	11,33	0,55	3,28	0,15
	2,83	2,22	3,47	0,17
Атлантический	11,33	0,55	2,34	0,17
	8,50	0,74	2,19	0,15
	3,78	1,66	2,06	0,13
Северный баренцевоморский	5,67	1,11	8,03	0,24
	2,83	2,22	5,67	0,12
Центральный и восточный баренцевоморский	-	-	-	-

Таблица 3.6– Характеристики значимых гармоник разных районах Баренцева моря и прилегающей акватории в зимний сезон ( $\omega$  – частота колебания,  $A$  – амплитуда колебания,  $V$  – вклад гармоники в дисперсию ряда)

Район	Период, лет	$\omega$ , год <sup>-1</sup>	$A$ , %	$V$
Гренландский	11,33	0,55	1,84	0,17
	5,67	1,11	2,16	0,23
Северный баренцевоморский	34,00	0,18	5,27	0,21
	5,67	1,11	6,81	0,35
Атлантический	17,00	0,37	3,57	0,23
	8,50	0,74	2,81	0,14
	3,09	2,03	2,60	0,12
Восточный баренцевоморский	17,00	0,37	5,21	0,28
	5,67	1,11	4,26	0,19
	4,25	1,48	4,73	0,23

При исследовании были выявлены гармоника с периодом 11 лет в гренландском и атлантическом районелетнего сезона и в гренландском районе зимнего. Колебания такого периода связаны с 11-летним циклом солнечной активности.

В гренландском, северном и восточном баренцевоморском районах зимнего сезонаи северном баренцевоморском летнего была выделена гармоника с периодом в 6 лет. Подобные колебания могут быть связаны с явлением прецессии. Гармоники с периодом 17 лет выделились в атлантическом и восточном баренцевоморском районе зимнего сезона и гренландском летнего.

Короткопериодные колебания (3-4 года) были выявлены в гренландском и атлантическом районах зимнего сезона и на всей акватории Баренцева моря летом.

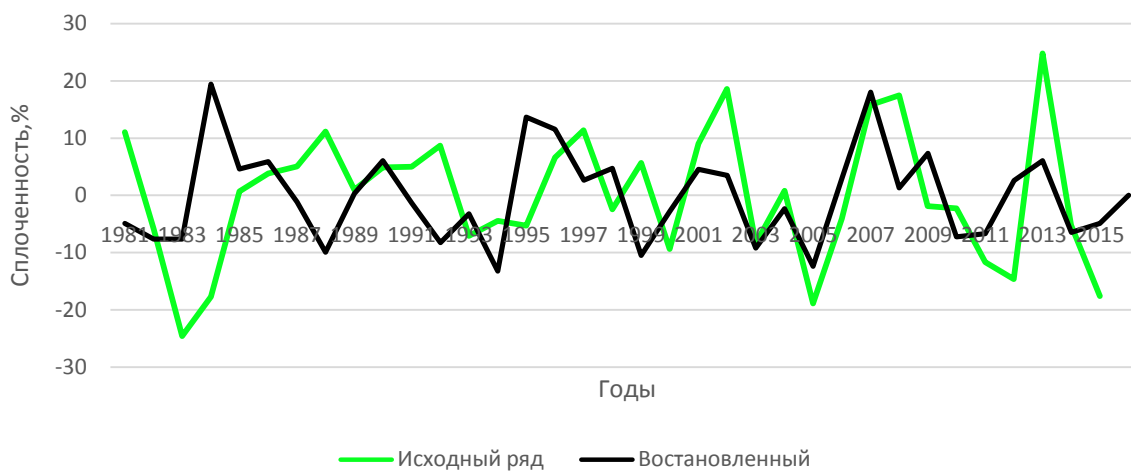


Рисунок 3.7 – Исходный и восстановленный ряд (без тренда) значений аномалийсплоченности в северном баренцевоморском районе в летний сезон.

В ходе восстановления исходного ряда путем суммирования гармоник было выявлено, что практически во всех случаях существует некоторый «сбой» фазы в 1995-1996 году. В случае, если до этого момента восстановленный ряд совпадал с исходным по фазе, то после «сбоя» наблюдался несовпадение

колебаний по фазе вплоть до их асинхронности. Наблюдалась и обратная закономерность. Пример приведен на рисунке 3.7. Можно предположить, что подобное явление было связано с тем, что некоторые циклические процессы, имеющие влияние на сплоченность моря и характеризующиеся длиной меньшей, чем длина исследуемого ряда, наблюдались в период до 1996 года и уже после этого момента. С целью выявления таких колебаний был проведен вейвлет-анализ.

### 3.4 Вейвлет-анализ

Для выявления циклических колебаний, длина которых меньше длины исследуемого ряда, был проведен вейвлет-анализ сплоченности в каждом районе исследуемого региона.

В таблицах 3.8 и 3.9 представлены характеристики вейвлет-разложения только для значимых коэффициентов.

Таблица 3.7– Характеристики циклов, полученных путем вейвлет-преобразования, для разных районов Баренцева моря и прилегающей акватории летнего сезона

Район	Период	Величина интегрального вейвлет-коэффициента	Продолжительность, лет	Года
Гренландский	2,37	123,25	3	1995-1998
	5,09	172,23	9	1982-1990
	10,93	127,51	13	2000-2013
Атлантический	3,33	85,92	4	1982-1986
	9,22	81,70	13	1982-1994
Северо-баренцевоморский	2,93	443,31	3	2013-2016
	5,09	711,09	35	1981-2016
Центральный и восточный баренцевоморский	3,78	169,35	2	1981-1984
	5,31	218,78	19	1986-2008
	10,04	160,17	10	1982-1991

При рассмотрении характеристик циклов для зимнего сезона, видно, что в всех классах, кроме восточного баренцевоморского района присутствует цикличность с периодом 5 лет. В гренландском районе она проявлялась в течение 12 лет, в атлантическом – 9 лет, в центральном и восточном баренцевоморском значительно дольше, 22 года.

Таблица 3.8– Характеристики циклов, полученных путем вейвлет-преобразования, для разных районов Баренцева моря и прилегающей акватории зимнего сезона

Класс	Период, лет	Величина интегрального вейвлет-коэффициента	Продолжительность, лет	Года
Гренландский	5,31	78,21	12	1982-1994
	9,62	37,16	11	1982-1993
Северный баренцевоморский	5,54	314,09	31	1982-2014
Атлантический	5,31	142,29	21	1982-2003
	7,45	130,88	15	1988-2002
	10,03	197,61	14	1982-1996
Восточный баренцевоморский	4,11	239,41	19	1982-2001
	15,34	265,40	27	1982-2009

В летний сезон на всей акватории кроме атлантического района выделяются циклы с периодичностью 9-10 лет, продолжительность этих циклов составляет от 10 до 13 лет. На всей акватории кроме атлантической зоны наблюдался цикл с периодом в 5 лет, однако его продолжительность значительно отличается между северным и центрально-восточным районом, в которых она составила 35 и 19 лет соответственно, и гренландским районом, где продолжительность цикла была всего 9 лет.

Короткопериодные циклы (3-4 года) присутствуют в каждом из классов.

В летний сезон циклические колебания наибольшей мощности присутствуют в северном баренцевоморском районе, наименьшей – в атлантическом. Зимой максимальные значения наблюдаются в двух баренцевоморских регионах, наименьшие в гренландском.

#### 4 Оценка связи временной изменчивости сплоченности с другими гидрометеорологическими характеристиками

Для выявления связи временной изменчивости количества льда в разных районах Баренцева моря и прилегающей акватории с климатическими параметрами был проведен взаимный корреляционный анализ (ВКФ) между среднегодовыми значениями сплоченности в каждом классе и следующими климатическими индексами: индексом североатлантического колебания (САК), индексом арктической осцилляции (АО), комбинированный индекс аномалий температуры поверхности моря и приземной температуры воздуха для северного полушария (ЛОТ), аномалии средней температуры в столетровом слое в северной части Атлантического океана ( $T_{cp}(CA)$ ) и солнечной постоянной ( $S$ ).

В таблицах 4.1 и 4.2 приведены значимые коэффициенты корреляции между среднегодовым значением сплоченности и климатическим индексом и соответствующие им сдвиги для каждого класса зимнего и летнего сезона.

Положительные значения сдвигов соответствуют запаздыванию сплоченности, отрицательные – запаздыванию индекса.

Можно видеть, что зимой между сплоченностью гринландского района и двумя индексами – Северо-Атлантического колебания и солнечной постоянной существуют обратные связи на сдвиге в 2 года. Летом же только прямая связь с солнечной постоянной на сдвиге в 9 лет.

В атлантическом районе зимой присутствует связь с индексом ЛОТ на сдвиге -2, и -1 летом, то есть прогнозировать сплоченность с помощью этого индекса нельзя. Зато на сдвиге в 8 лет есть прямая связь с индексом Арктической осцилляции.

Таблица 4.1– Оценки связи сплоченности в разных районах Баренцева моря и прилегающей акватории с климатическими индексами для летнего сезона: сдвиг n (лет) и коэффициент корреляции.

Индекс	САК		АО		ЛОТИ		T <sub>cp</sub> (CA)		S	
	n	R	n	R	n	R	n	R	n	R
Гренландский	-1	-0,42	2	-0,45	1	-0,33	-4	-0,37	1	-0,44
	0	-0,37	9	0,43					<b>2</b>	<b>-0,51</b>
	<b>2</b>	<b>-0,50</b>							3	-0,44
									9	0,42
Атлантический	6	0,44	-3	0,41	-9	0,39	-7	0,37	-9	-0,38
	9	0,38	0	-0,33	<b>-2</b>	<b>0,58</b>	5	0,38	-8	-0,43
					4	-0,55	11	-0,43	-4	0,33
									<b>-3</b>	<b>0,52</b>
									-2	0,47
								1	-0,4	
Северо-баренцевоморский	-4	0,35	-5	-0,38	-8	0,42	-2	0,33	-11	0,42
	1	0,37	8	0,47	-4	-0,41	4	0,38	-10	0,36
	8	0,47							-1	0,32
Центральный и восточный баренцевоморский	-3	0,47	-4	0,27	-10	-0,39	-2	0,45	-3	0,4
	7	0,46	6	-0,32	-1	0,34	-1	0,37	-2	0,43
	8	0,40			-2	0,32			-1	0,36
	9	0,43							8	0,4

Между зимней изменчивостью сплоченности в восточно-баренцевоморском районе и индексом Арктической осцилляции существует прямая связь на девятилетнем сдвиге и обратная связь с индексом ЛОТИ на сдвиге -10 лет.

Таблица 4.2– Оценки связи сплоченности в разных районах Баренцева моря и прилегающей акватории с климатическими индексами для зимнего сезона: сдвиг n (лет) и коэффициент корреляции.

Индекс	САК		АО		ЛОТІ		T <sub>cp</sub> (CA)		S	
	n	R	n	R	n	R	n	R	n	R
Гренландский	1	-0,39	1	-0,35			-5	-0,43	1	-0,48
									2	-0,47
									8	0,42
									<b>9</b>	<b>0,50</b>
Северо-баренцевоморский	-1	0,36			10	-0,41	8	-0,37		
	2	0,44					9	-0,43		
	3	0,42								
	4	0,39								
	8	0,39								
	9	0,48								
Атлантический	9	0,48	-11	0,41	-2	0,34	-2	0,34	-8	-0,40
			<b>8</b>	<b>0,49</b>	<b>-1</b>	<b>0,51</b>			-3	0,40
					4	-0,40			-2	0,40
									-1	0,38
Восточно-баренцевоморский			8	0,48	-11	-0,41	-11	-0,44	-9	-0,45
			<b>9</b>	<b>0,59</b>	<b>-10</b>	<b>-0,49</b>			-8	-0,38
					-4	0,39			-3	0,42
					8	0,37			-2	0,45
									-1	0,44

В северном баренцевоморском районе значимых связей выявлено не было, как и летнем центральном и восточном баренцевоморском районе.

В летний сезон значения больше 0,5 наблюдаются только на сдвигах в два года в гренландском районе, в зимний, напротив, преимущественно на сдвигах 8-9 лет и только в атлантическом и восточном баренцевоморском районе.

В целом, климатические индексы, примененные в данном исследовании, показали достаточно слабую связь с глобальными климатическими процессами вне зависимости от заблаговременности их взаимодействия.



## Заключение

В ходе работы было выявлено существование на акватории Баренцева моря и прилегающих районах Северной Атлантики районов с различной изменчивостью сплоченности. В ходе классификации сплоченности были выделены следующие районы: гренландский, атлантический, северный баренцевоморский и центрально-восточный баренцевоморский.

Было выяснено, что географические границы гренландского района практически не зависят от времени года. Атлантический район подвергается сезонной изменчивости и летом занимает меньшую площадь, чем зимой. Кромка льда смещается от лета к зиме от  $79^{\circ}$ с.ш. до  $78^{\circ}$ с.ш. у Шпицбергена и от  $75^{\circ}$ с.ш. до  $74^{\circ}$ с.ш. в Баренцевом море. Границы северного баренцевоморского района зимой проходят южнее и охватывают область шире, чем летом. Баренцевоморский район в летнее время занимает восточную часть акватории Баренцева моря, а летом распространяется на северо-восток до Земли Франца-Иосифа.

Было выяснено, что сплоченность в выявленных районах носит разный характер временной изменчивости. За исследуемый период выявлено быстрое ( $0,5-0,7\%$ /год) уменьшение сплоченности в северном баренцевоморском районе и рост сплоченности в гренландском районе ( $0,2\%$ /год). В атлантическом районе летом и зимой в восточном баренцевоморском тенденция изменчивости сплоченности не выявлена. Процесс роста льда в гренландском районе зимой и летом происходит с практически одинаковой скоростью. В северном баренцевоморском районе зимой сплоченность убывает быстрее, чем летом.

Результаты спектрального и вейвлет-анализа показали присутствие колебаний разных периодов в каждом из районов. Почти для всех районов исследуемой акватории были выделены гармоники с 11-летним периодом и короткопериодные (3-4 года) колебания.

Временная изменчивость сплоченности показала достаточно слабую связь с климатическими индексами, примененными в данном исследовании, вне зависимости от заблаговременности их взаимодействия. Значения корреляции больше 0,5 были выявлены на сдвигах в два года в гренландском районе при условии более раннего проявления Североатлантического колебания и солнечной постоянной.

## Список использованных источников

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том I Баренцево море / Под ред. Теризиева Ф.С., Гирлюка Г.В., Зыковой Г.Г., Дженюка С.Л.– Л.:Гидрометеиздат, 1990. 179 с.
2. Баренцево море // ААНИИ.– Доступ: [http://www.aari.ru/resources/a0013\\_17/barents/atlas\\_barents\\_sea/\\_Atlas\\_Barenc\\_Sea\\_seasons/text/Barenc.htm](http://www.aari.ru/resources/a0013_17/barents/atlas_barents_sea/_Atlas_Barenc_Sea_seasons/text/Barenc.htm)
3. Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. – М., Изд-во МГУ, 1982. 192 с.
4. География России.– Доступ: <https://geographyofrussia.com/morya-rossii-barencevo-more/>
5. Гренландское море // База знаний.– Доступ: [http://proznania.ru/?page\\_id=2351](http://proznania.ru/?page_id=2351)
6. Норвежское море// База знаний.– Доступ: [http://proznania.ru/?page\\_id=2352](http://proznania.ru/?page_id=2352)
7. Нестеров Е.С. // Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. – М.:Триада, лтд, 2013. – 144 с.
8. Кластерный анализ // Центр статистического анализа.– Доступ: <http://www.statmethods.ru/konsalting/statistics-metody/121-klasternyj-analiz.html>
9. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине "Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации".– СПб.: РГГМУ, 2010. 45-48 с
10. Спектральный анализ / Национальный исследовательский Томский государственный университет Геолого-географический факультет.– Доступ: [http://ggf.tsu.ru/content/faculty/structure/chair/meteorology/publications/Истор\\_и\\_совр\\_изменения\\_климата/text/50.html](http://ggf.tsu.ru/content/faculty/structure/chair/meteorology/publications/Истор_и_совр_изменения_климата/text/50.html)
11. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. №11. С. 1145-1146,1153,1169.

12. Хованова Н.А., Хованов И.А. Методы анализа временных рядов.— Саратов: ГосУНЦ, 2001. 120 с.

13. Белоненко Т.В., Фукс В.Р., Шилов И.О. Опыт применения вейвлет-анализа для исследования изменчивости океанологических процессов в Курильском районе // Теория и практика экологогеографических исследований (Итоги научной работы Учебно-научного центра географии и геоэкологии в 2004 г.)/Под ред. В.В. Дмитриева, А.И. Чистобаева, Т.А. Алиева, И.О. Шилова. – СПб.: ТИН, 2005. С. 150-163

## Приложение А. Код программы обработки данных на языке ФОРТРАН.

```
program hawaii
real x(19,91)
real y(1729), lon (91), lat(19), lons(1729), lats(1729)
character c*8, d*15
integer k,t

open (1, file='inp.dat')
open (2, file='out.dat')

lon(1)=-20,5
lat(1)=64,5

do j=2,91 !количество точек по долготе
lon(j)=lon(j-1)+1 !долгота
enddo

doi=2,19 !количество точек по широте
lat(i)=lat(i-1)+1 !широта
enddo

t=0
do i=1,19
do j=1,91
t=t+1
lons(t)=lon(j) !
lats(t)=lat(i)
enddo
enddo

print*,lons(1729),lats(1729)

write (2,200) (lons(t),t=1,1729)
write (2,200) (lats(t),t=1,1729)

read (1,*)!пропускаем строку с долготами

!сортируем массив
doi=1,416 !время
```

```

print*, i
      k=0
read (1,*) !читаем строку с датой
      do j=1,19 !широты т.е. строчки
        read (1,*) c, (x(j,n),n=1,91)

          do n=1,91
            k=k+1
            y(k)=x(j,n)
          enddo
        enddo
      write (2,100) (y(k),k=1,1729)

    enddo

100  format (1729(e10.4,1x))
200  format (1729(f8.1,1x))

close (1)
close (2)

END

```

ПриложениеБ. Взаимнокорреляционные функции климатических индексов и временных рядов сплоченности разных районов Баренцева моря и прилегающей акватории.

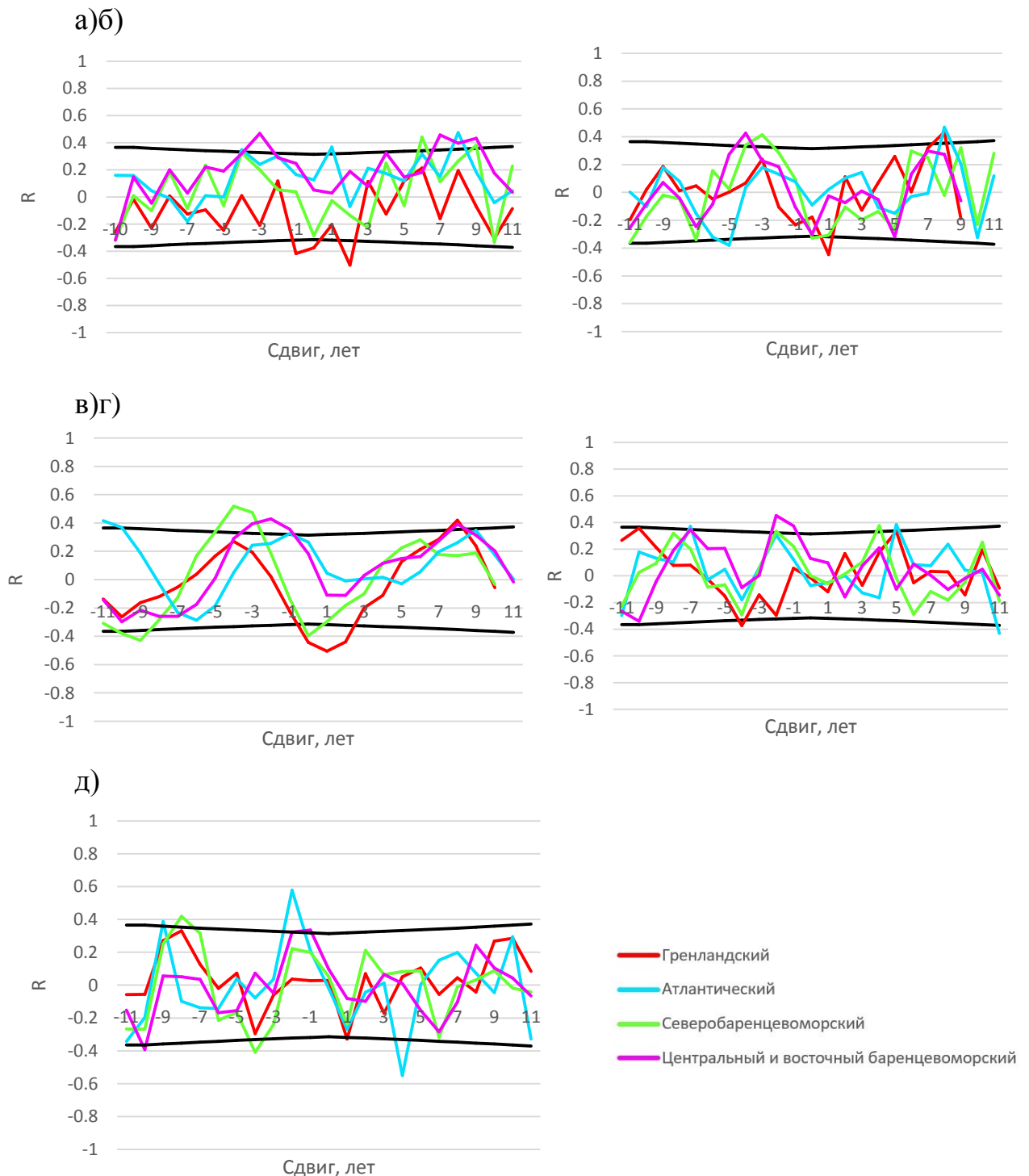
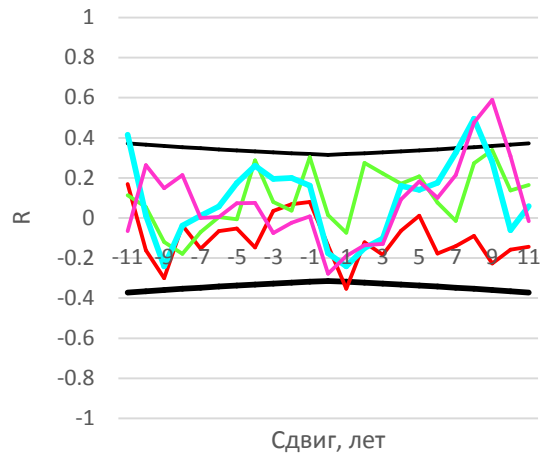
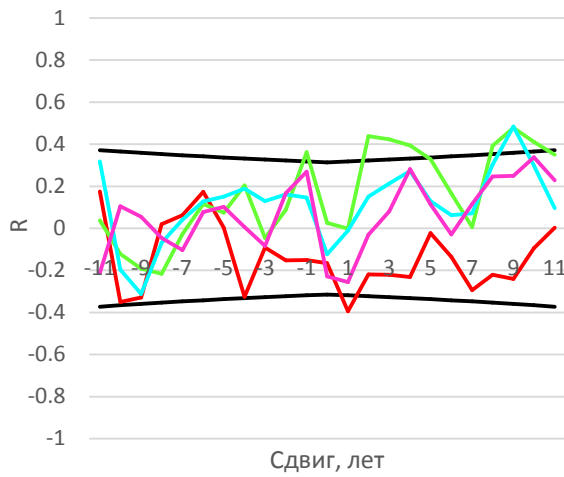
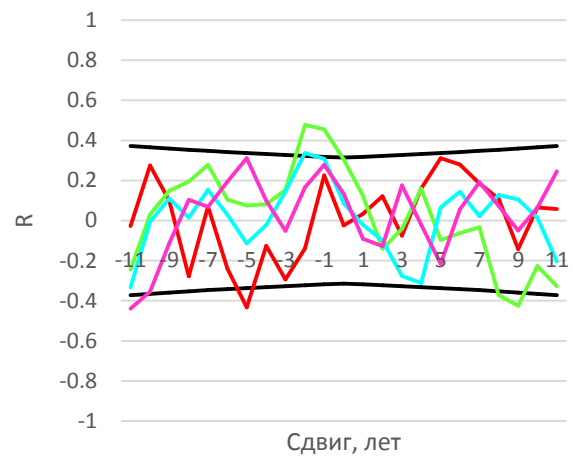
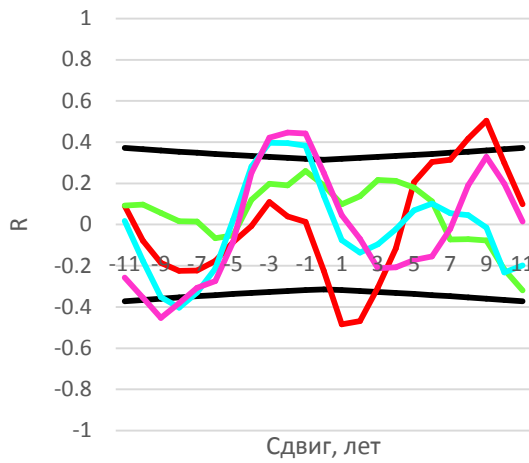


Рисунок Б.1 –ВКФ климатических индексов и временных рядов летней сплоченности  
 а) Индекс САК б) Индекс АО в) Солнечная постоянная г) Аномалии температуры воды в Северной Атлантике д) Индекс LOTI

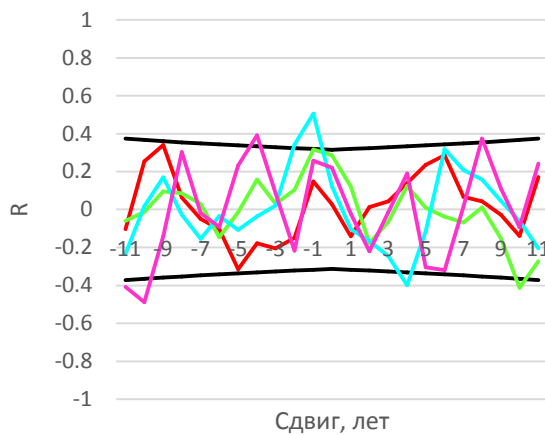
а)б)



в)г)



д)



- Гренландский
- Атлантический
- Северобаренцевоморский
- Восточнбаренцевоморский

Рисунок Б.2 – ВКФ климатических индексов и временных рядов зимней сплоченности

а) Индекс САК б) Индекс АО в) Солнечная постоянная г) Аномалии температуры воды в Северной Атлантике д) Индекс LOTI



Приложение В. Вейвлет-анализ временных рядов сплоченности разных районов Баренцева моря и прилегающей акватории.

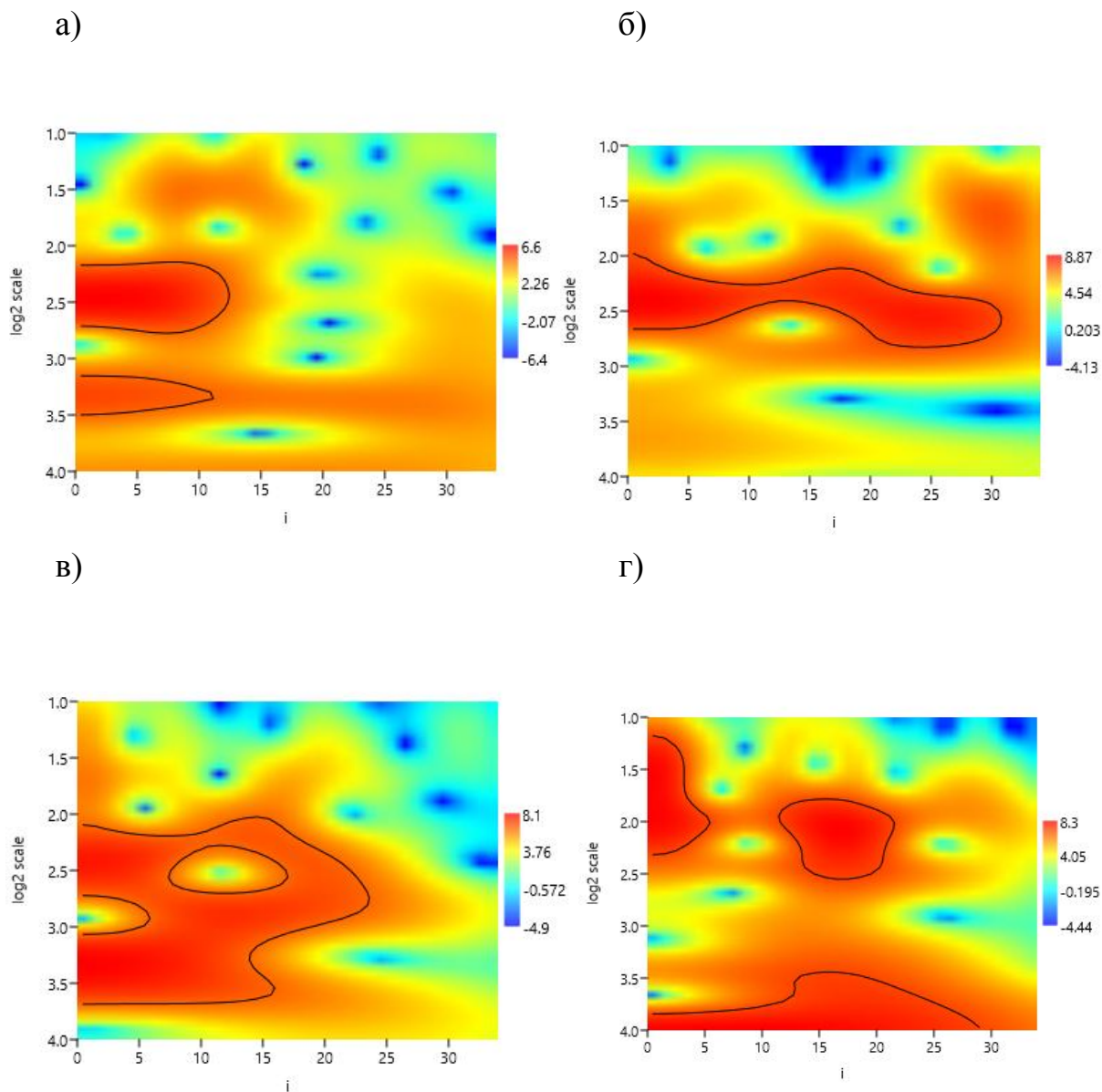


Рисунок В.1 – Вейвлет-преобразования временных рядов сплоченности за зимний сезон

а) Гренландский район б) Северном баренцевоморский район в) Атлантический район г) Восточный баренцевоморский район

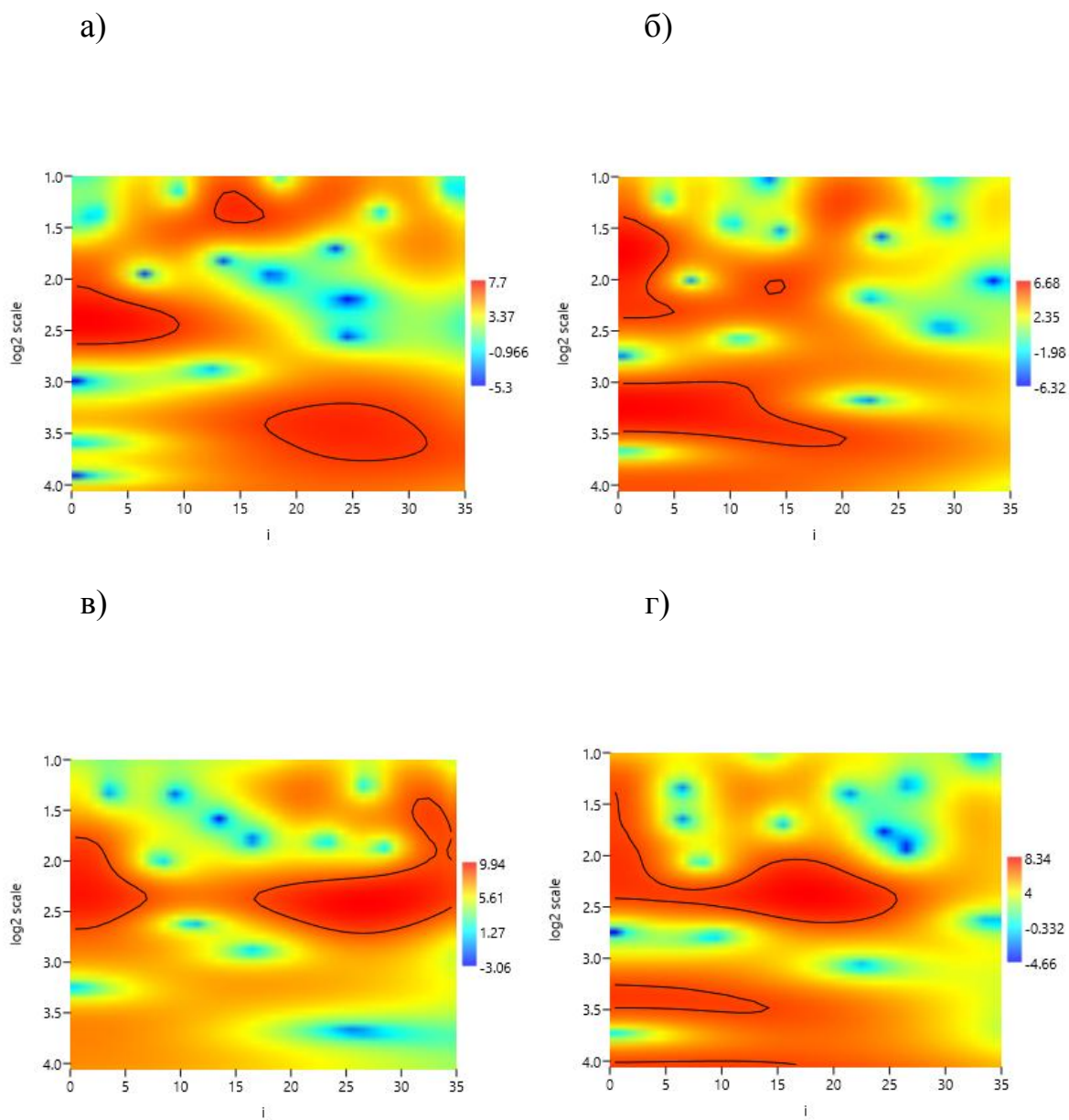


Рисунок Б.2 Вейвлет-преобразования временных рядов сплоченности за летний сезон

а) Гренландский район б) Атлантический район в) Северном баренцевоморский район г) Центральный и восточный баренцевоморский район