

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанографии ЮНЕСКО-МОК и охраны природных вод

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Магистерская диссертация)

# «ИЗМЕНЧИВОСТЬ СПЛОЧЕННОСТИ ЛЬДОВ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАССЕЙНА»

Исполнитель: Сафонова Ксения Андреевна, студент группы ПО-М17-1-8 Научный руководитель: к.г.н., доцент, Гордеева Светлана Михайловна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись) к.ф.–м.н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Ерёмина Татьяна Рэмовна

(фамилия, имя, отчество)

«\_\_\_»\_\_\_\_20\_г.

Санкт–Петербург

2019

## Содержание

Вве	дение	.3
1	Физико-географическое описание	.5
1	.1 Географическое положение	.5
1	.2 Рельеф дна	.6
1	.3 Течения и приливы	.7
1	.4 Климат1	0
1	.5 Температура и соленость воды	1
1	.6 Ледовитость	4
2	Материалы и методы исследования	7
2	.1 Исходные данные	7
2	.2 Обработка исходных данных	8
2	.3 Кластерный анализ	20
3	Оценка длительности зимнего периода в СЕБ	23
4	Пространственно-временная изменчивость сплоченности льда в СЕБ	•••
		28
4 п	.1 Районирование акватории по типу изменчивости в холоднь гериод2	ій 28
4	.2 Районирование акватории по типу изменчивости в теплый перио	д 32
5	Связь сплоченности льда в СЕБ с гидрометеорологическим	и
характер	астиками	6
5	.1 Связь с температурой воздуха.	66
5	.2 Связь с ветром	57
5	.3 Вынос льда из Северного Ледовитого океана через пролив Фрам	a 39
Зак	лючение	5
Спи	исок литературы4	17

#### Введение

Глобальное изменение климата, наблюдающееся в последние десятилетия, оказывает значительное влияние на Северный Ледовитый океан, приводя к сокращению площади морских льдов. Механизм этого воздействия является объектом исследования множества научных работ.[1][2]

Особенностью структуры ледяного покрова Северного ледовитого океана является наличие нескольких ледяных массивов, обусловленных географическими и метеорологическими факторами. Изменчивость состояния этих массивов является частью общей тенденции изменчивости ледяного покрова Арктики, но на распределение морских льдов на локальных акваториях оказывают влияние термические факторы, ветровой режим и морские течения.[3]

Изменчивость сплоченности отдельных акваторий, в свою очередь, оказывает влияние на региональный и глобальный климат, воздействия через механизм обратных связей альбедо–температуры воздуха. Механизм данной обратной связи может быть описан следующим образом. При сокращении площади ледяного покрова моря альбедо акватории уменьшается, что в свою очередь способствует большей абсорбции солнечной радиации и, следовательно, выделению дополнительного тепла. Изменение теплозапаса отдельного моря, таким образом, оказывает влияние на перестройку региональной климатической системы.[4]

Цель работы заключается в исследовании изменчивости сплоченности льдов Северо-Европейского бассейна в период с 1979 по 2017 гг.

Для достижения поставленной цели были поставлены и выполнены следующие задачи:

1. Изучение физико-географических и климатических особенностей исследуемой акватории по литературным источникам.

3

- 2. Разделение временных рядов сплочённости льдов в Северо-Европейском бассейне Северного ледовитого океана на теплый и холодных сезон.
- 3. Районирование исследуемой акватории по принципу изменчивости сплоченности.
- 4. Исследование временной изменчивости сплоченности каждого района.
- 5. Исследование связей между временной изменчивостью сплоченности в районах и гидрометеорологическими параметрами.

Объектом исследования является акватории Северо-Европейского бассейна Северного ледовитого океана. Предметом исследования является пространственная и временная изменчивость сплоченности льдов.

## 1 Физико-географическое описание

### 1.1 Географическое положение

Гренландское море является частью Северо-Европейского бассейна Северного Ледовитого океана [5]. С севера море ограничено линией от северной оконечности Гренландии до севера Западного Шпицбергена. Восточная часть моря описывается линией от мыса Южный Западного Шпицбергена до острова Медвежий и от него до острова Ян-Майен до мыса Герпир, расположенного на востоке Исландии. Юг Гренландского моря ограничивается северо-восточным побережьем Исландии и линией от мыса Рейдинупр до мыса Брустер на востоке Гренландии. На западе море ограничено восточным берегом Гренландии.



Рисунок 1.1 — Границы Гренландского моря [6]

Гренландское море является океаническим окраинным морем и имеет свободное сообщение с Норвежским морем, а также с Баренцевым морем — через пролив между островами Медвежий и Шпицберген, с Атлантическим океаном — через Датский пролив, и с Северным Ледовитым океаном через пролив Фрама между Шпицбергеном и Гренландией.

Площадь Гренландского моря составляет 1195 тыс. км<sup>2</sup>, что является 30% от площади Северо-Европейского бассейна, объем — 1961 тыс. км<sup>3</sup> (43% от объема Северо-Европейского бассейна). [7]

1.2 Рельеф дна

Гренландское море глубоководное, средняя глубина составляет 1641 м, а наибольшая глубина 5527 м. [7].



Рисунок 1.2 — Рельеф дна южной части Гренландского моря [8]

Рельеф дна отличается сильной неровностью. Основную часть моря занимает Гренландская котловина, достигающая 4846 м, которая отделена от

Исландской котловины (глубина до 2793 м) Гренландско-Исландским желобом. Дно неровное, присутствуют подводные горы, банки и поднятия. С восточной стороны они ограничены срединно-океаническими хребтами Мона и Книповича, и Исландско-Ян-Майенским хребтом и здесь, над вершинами хребтов, глубина составляет 549 м. От хребта Книповича, между 75° и 76°с.ш. в северо-западном направлении отходит Гренландский хребет, который разделяет на северную и южную часть Гренландскую котловину, которая на севере ограничена Шпицбергенской зоной трансформных разломов. Большую часть дна Гренландского моря покрывают терригенные отложения, которые приносятся арктическими льдами.

Преграждающий Датский пролив Гренландо-Исландский порог ограничивает свободный водообмен с Атлантическим океаном [7].

### 1.3 Течения и приливы

Система течений Гренландского моря устойчива и связана с циркуляцией вод Северного Ледовитого и Атлантического океанов, а также их водообмен с соседними морями [7].

Восточно-Гренландское течение несет холодные воды из Арктического бассейна вдоль восточного берега Гренландии на юго-запад до мыса Фарвель. Скорость Гренландского течения может превысить 25 см/с, в среднем составляет 10-25 см/с.

На широте 74°с.ш. от Восточно-Гренландского течения отделяется Ян-Майенская ветвь, холодные воды, направляющиеся на юго-восток. У хребта Мона они поворачивают на восток, и далее разворачиваются на северо-восток. Его скорость составляет 10-25 м/с и более. На широте 71° в юго-восточном направлении от Восточно-Гренландского течения отходит вторая холодная ветвь. Она имеет меньшую скорость, около 10 см/с. Это течение, проходя западную часть хребта Мона и входя в район Исландской котловины, участвуя в формировании Восточно-Исландского течения.



Рисунок 1.3 — Карта течений Гренландского моря[7][9]

Западная, Средняя и Восточная ветвь Норвежского течения — теплое Западно-Шпицбергенское течение поступает в Гренландское море с юга. Оно движется вдоль побережья Шпицбергена, на север, где, входя в Арктический бассейн, где существует в виде глубинного теплого течения под холодными и менее плотными полярными водами. Остальные воды Западно-Шпицбергенского течения, поворачивая на запад и юго-запад вместе с полярными водами образуют циклонический круговорот, располагающийся в центральной части Гренландского моря, а к югу от него наблюдается небольшой циклонический круговорот. Характер и скорость горизонтальной циркуляции на горизонтах 100-500 м близки по параметрам поверхностных течений. К горизонту 1000 м интенсивность перемещения вод ослабевает.

Полярный фронт в Гренландском море выражен слабо вследствие развитой дивергенции теплых и холодных вод и слабого развития конвергенции. Устойчивый участок полярного фронта находится возле острова Медвежий, где встречаются теплые атлантические воды и холодные воды, приносимые из Арктического бассейна. У западного Шпицбергена, где происходит схождение холодных и теплых потоков, проходит полярный фронт.

Гренландское море характеризуется хорошо выраженными приливами, имеющими правильный полусуточный характер, и вызванными, в основном, атлантической приливной волной, проникающей через Датский пролив и распространяющейся на север и северо-восток. Уменьшение величины прилива распределено таким же образом и составляет от 2 метров на юге до 1 метра на севере, но в некоторых бухтах восточного берега Гренландии прилив может достигать 2.5–3 метров. Скорости приливных течений различны в разных районах, хотя и существуют во всем море. В выступающих частях побережья, проливах и узостях они достигают максимальных значений. По мере удаления от этих районов скорость приливных течений становится незначительной в сравнении с постоянными поверхностными потоками.

Кроме того, на акватории наблюдаются внутригодовые колебания уровня, которые вызываются сезонными изменениями атмосферного давления и скоростей ветра. В северной части моря разность между минимальными и максимальными среднемесячными значениями уровня в течение года составляет 10–12 см, в южных районах – 12–14 см.

Из-за активной атмосферной циркуляции над акваторией Гренландское море неспокойно. Особенности волнения имеет сезонный характер. В осеннезимнее время северо-восточные ветра заставляют быть море наиболее бурным на безледных пространствах. Волнение может достигать 4–6 метров. Вблизи кромки льда высота волн составляет 1–2 метра и менее.

9

В летний сезон скорости ветра уменьшаются, что приводит к уменьшению волнения до 1 м, штормовые волны достигают 2–4 м, волны больше приведенных значений встречаются редко. [7]

1.4 Климат

Основные черты характера климата Гренландского моря определяются его расположением в высоких широтах и за Полярным кругом, связью с Атлантическим океаном и с Центральным Арктическим бассейном. В целом климат Гренландского моря можно охарактеризовать как полярный морской, то есть наблюдаются суровые зимы, короткое и холодное лето, значительные колебания температуры воздуха от сезона к сезону [7].

В течение года на Гренландское море оказывают влияние Исландский минимум и Полярная область повышенного давления. Зимой Исландский минимум занимает большую площадь и углубляется, центр Полярного максимума перемещается к Канадскому арктическому архипелагу и северу Гренландии. Циклоническая деятельность усиливается, рядом с Исландией и в районе Девисова пролива часто походят циклоны, в тылу которых наблюдаются вторжения холодного арктического воздуха в северные регионы Гренландского моря. Большие барические градиенты между циклонами, приходящими с Атлантического океана и Полярным максимумом, приводят к интенсивному переносу атлантического юго-западному воздуха В южные районы Гренландского моря. Поэтому в северных районах моря превалируют восточные и северо-восточные ветры с средними скоростями 5-8 м/с. В южных районах характерны юго-западные ветры со скоростью 6—9 м/с. Зимой часто случаются штормы, особенно в южных районах моря. Температура воздуха в январе в среднем составляет около -22—  $-24^{\circ}$ С на севере и -8—  $-10^{\circ}$ С на юге.

Летом происходит уменьшение глубины Исландского минимума и смещение Полярной области высокого давления на север. Над акваторией Гренландского моря наблюдается слабый антициклон. В результате, над морем преобладают северные ветры со средней скоростью 3—5 м/с, несущие арктические воздушные массы. Циклоны проходят южнее акватории моря, штормы происходят редко. Температура воздуха в среднем в августе составляет 2—4 °C на севере и 5—6°C в южной части моря [7].

#### 1.5 Температура и соленость воды

В зимний период температура поверхностных вод Гренландского моря составляет -1 - -1.8°C. Нулевая изотерма (рис.1.4) располагается вдоль восточного побережья Гренландии – от Датского пролива, к востоку от острова Ян-Майен и далее на север за Шпицберген. В восточной части моря располагается язык теплых (1–3°C) вод. В летний период, когда поверхность моря прогревается, в полосе около восточного побережья Гренландии сохраняется температура около -0.5°C, а на остальной акватории температура изменяется от 0 до 5°C, увеличиваясь с запада на восток. Вблизи северного побережья Исландии она вырастает до 7–8°C, достигая 9–10°C, в теплые месяцы (июль и август).

Солёность Гренландского моря практически не отличается от средней солености океана из-за малого речного стока и хорошей связи с океаном. Однако, в некоторых районах имеются заметные отклонения. В целом соленость на поверхности увеличивается с запада на восток и, хоть и менее заметно, с севера на юг, что обуславливается притоком вод из соседних океанов (рис.1.4).



Рисунок 1.4 — Распределение температуры воды на акватории Северо-Европейского бассейна Атлантики в январе (а) и августе (б) в среднем за период с 1993 по 2017 гг. По данным реанализа GLORYS12V1 [10]



Рисунок 1.5 — Распределение солености на акватории Северо-Европейского бассейна Атлантики [7]

В Гренландском море выделяют несколько структурных типов вод. Первый, Восточно-Гренландский, представляет собой полосу, шириной в 300– 500 км, вдоль восточного берега Гренландии. Поверхностный слой представляют холодные (–1 – –1.3°С) и опреснённые (31–31.5‰), поступающие из Северного Ледовитого океана, средний — более теплые (около 1°С) и более соленые (34.9‰) воды атлантического происхождения и глубинные, придонные воды, холодные (0.1–1°С) и соленые (34.9‰).

Второй тип — Гренландский, располагается на востоке до границы Гренландского моря, а на юге занимает часть Норвежского моря. Данная структура вод сформирована в значительной мере более теплыми водами Норвежского моря и Атлантического океана, поэтому температура поверхностных вод составляет около 1°С, а соленость 34.5‰. Воды промежуточного слоя имеют температуру 1.5°С и соленость 35 ‰. Глубинные воды характеризуются температурами 0.8 – –0.8°С и соленостью около 35‰, а придонные имеют температуру около –1°С и соленость 34.91 ‰.

Структура Шпицбергенского типа расположена на севере моря и отделена от Восточно-Гренландской и Гренландской структур зонами смешения. Эту структуру формируют при взаимодействии воды Северного Ледовитого и Атлантического океана. Здесь температура поверхностных вод составляет –  $1.8^{\circ}$ С, соленость около 34‰. Промежуточные воды, атлантического происхождения, имеют температуру 1–2°С, и соленость 35‰. Глубинные и придонные слои характеризуются низкими температурами — от 0 до –1°С, соленость составляет 34.5‰ [7].

1.6 Ледовитость

Гренландское море характеризуется круглогодичным присутствием льда разных разновидностей. [11] Непосредственно в Гренландском море образуется лед местного происхождения, однолетний и многолетний, образующий большие ледяные поля. Из Арктического бассейна Восточно-Атлантическим течением приносится паковый лед, толщина которого достигает 2–3 метров.

Однолетний лед, который может достигать 1 метра в толщину, объединяет собой многолетние льдины, что приводит к появлению обширных и тяжелых полей.

Вблизи берегов и во фьордах встречаются айсберги, образованные из ледников восточной Гренландии, доля восточно-гренландских ледников оценивается как 40% от общего количество гренландских айсбергов. Основная часть попавших в открытые районы моря айсбергов разрушается там же, но некоторые проходят через Датский пролив и оказываются в водах Атлантического океана, что осложняет навигацию в этих водах.

14

В северных районах моря ледообразование начинается в сентябре, а к октябрю льдом покрывается вся акватория. Таяние на юге начинается в мае, а на севере — в июне, но побережье Гренландии обычно полностью ото льдов не очищается.

Лед, находясь под воздействием ветров и течений, дрейфует в южном и юго-западном направлении к Датскому проливу. У восточного берега Гренландии, где происходит дрейф льдов, вынесенных из Арктического бассейна, движение наиболее заметно. Из-за приглубых берегов и частых сильных ветров припай в Гренландском море развит незначительно [7].



Рисунок 1.6 — Средняя (1), максимальная (2), минимальная (3) границы распространения многолетних льдов в Гренландском море по данным комплексных ледовых карт ААНИИ [11] в зимне-весенний период за 1989-1993 гг.

На границу распространения многолетних льдов оказывает большое влияние характер распространения Восточно-Гренландского течения. В районе кромки льда преобладает молодой и однолетний лед, но в прикромочную область также могут выноситься отдельные поля многолетнего льда за счет вихревых образований поля дрейфа льда. В южной части моря наблюдаются самые сильные различия в изменчивости распространения многолетних льдов, где они отсутствуют в летний период, а также могут не наблюдаться и в зимний период (рис.1.6) [11].

#### 2 Материалы и методы исследования

#### 2.1 Исходные данные

Основным исследуемым параметром в данной работе является **сплоченность льда**, то есть, какую часть единичной площади поверхности моря занимает лед. Информация о сплоченности льда выбиралась из базы ERA-Interim.

ERA-Interim [12] — это глобальный атмосферный реанализ, разработанный ECMWF (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды). ERA-Interim охватывает период с 1 января 1979 года по настоящее время. Продукты с сеточными данными включают в себя большое разнообразие 3-часовых параметров, описывающих погодные условия вблизи поверхности, волнение, и 6-часовые аэрологические параметры, охватывающие тропосферу и стратосферу.

Система ассимиляции данных, используемая для создания ERA-Interim, основана на выпуске IFS (Интегрированной системы прогнозирования) 2006 года (Cy31r2). Система включает 4-мерный вариационный анализ (4D-Var) с 12-часовым окном анализа.

В ERA-Interim производится четыре анализа в день — в 00, 06, 12 и 18 часов по UTC и дважды в день производится ежедневный прогноз на 10 дней, на основе анализов в 00 и 12 часов по UTC. Анализ, произведенный в 00 UTC, основан на наблюдениях, полученных между 15 UTC предыдущего дня и 03 UTC текущего дня, анализ в 12 UTC основан на наблюдениях между 03 UTC и 15 UTC. Среднемесячные и среднесуточные значения рассчитываются для анализов (среднее значение четырех основных синоптических среднемесячных значений в 00, 06, 12 и 18 UTC) и данных мгновенного прогноза (средние значения четырех синоптических средние значения от прогнозов, начатых в 00 и 12 UTC)

В базе ERA-Interim информация о сплоченности льда получена из наблюдений, формирование и таяние льдов не моделируется, однако модель

учитывает то, как морской лед изменяет взаимодействие между атмосферой и океаном. Морской лед определяется как замерзшая морская вода, которая плавает на поверхности океана. Морской лед не включает лед, который образуется на суше, такой как ледники, айсберги и ледяные щиты. Это также исключает ледяные шельфы, которые закреплены на суше, но выступают над поверхностью океана [13].

Данные о сплоченности льда были получены для области 82°-65°с.ш., 32°з.д.-68°в.д. за период времени с января 1979 по декабрь 2018 года в сетке 0.75° на 0.75°.

Дополнительно в исследовании использовалась такие параметры атмосферы, как меридиональная и зональная компоненты скорости ветра на высоте 10 м и температура воздуха на высоте 2 м над исследуемой акваторией, источником данных также послужил реанализ ERA-Interium.

В качестве источника глубоководных данных использовалась база данных ORAS4[14] — оперативная система реанализа океана, созданная ECMWF. В ORAS4 ассимилируются профили температуры и солености из базы данных EN3 v2a XBT, CTD, Argo, Mooring, и GTS в реальном времени. В настоящий момент выпущена и доступна пользователям следующее поколение системы – ORAS5. В данной работе использовались данные о меридиональной компоненте скоростей течения на разрезе от 20° з.д. до 15° в.д. на широте 79.5° с.ш. на 18 горизонтах до глубины 70 метров.

2.2 Обработка исходных данных

Так как исходный массив данных представлял собой большой объем информации (с января 1979 года по декабрь 2018 года), а также для выявления сезонных особенностей, было принято решение разделить временной ряд сплоченности льда в каждой точки на «зимнюю» и «летнюю» сосотавляющие.

Для этого, в первую очередь был осуществлен переход от астрономического года (январь—декабрь) к гидрологическому (октябрь—

18

сентябрь), так как период нарастания и таяния льда описывается внутри гидрологического года наилучшим образом. Это привело к уменьшению длины временного ряда на один год — с 39 лет до 38.

Кроме того, из исходных данных были удалены все точки, в которых лед не наблюдался никогда, наблюдался изредка (средняя сплоченность за весь период составила меньше 0.1), и точки, в которых хотя бы единожды лед отсутствовал весь гидрологический год.

Далее, для разделения на «зимнюю» и «летнюю» сплоченность была применена следующая методика. В рамках каждого гидрологического года был определен месяц начала нарастания — момент, когда сплоченность льда в следующем месяце становится больше, чем в текущем. Так как период максимальной сплоченности продолжается несколько месяцев, но при этом характеризуется колебаниями значений сплоченности, момент начала таяния определялся как месяц, после которого сплоченность льдов уменьшалась на величину, рассчитанную по формуле 2.1

$$k_t = (max_t - min_t) \cdot 0.05 \tag{2.1}$$

где *t*— номер гидрологического года;

*max* — максимальное значение сплоченности в t-гидрологическом году; *min* — минимальное значение сплоченности в t-гидрологическом году.

Величина 0.05, то есть 5% от размаха колебания, была подобрана эмпирическим путем и позволяет находить месяц начала таяния практически с достаточной точностью. Пример разбиения ряда на «зимнюю» и «летнюю» составляющие можно видеть на рис. 2.1



Рисунок 2.1— Изменчивость сплоченности льда в точке 78.8°с.ш. 15°з.д. Красный — зимний период, голубой — летний период, черный — исходные данные.

Далее было произведено осреднение сплоченности льда в каждой точке за каждый выявленный период, таким образом было получено два массива данных, которые далее будут называться «летняя сплоченность» и «зимняя сплоченность».

## 2.3 Кластерный анализ

В качестве одного инструментов статистического ИЗ анализа использовался кластерный анализ. Кластерный анализ — это набор методов и применения которых алгоритмов, результатом является классификация исходного набора данных с целью разбиения объектов на группы, внутри которых объекты максимально схожи между собой по тому или иному признаку, а сами группы максимально отличны друг от друга.

В данном исследовании в качестве меры близости, позволяющей численно оценить степень сходства или различия временной изменчивости признаков используется аналог евклидовой метрики (формула 1.1).

$$d'(x_j, x_{j+1}) = 1 - r$$
 (2.2)

где d' – расстояние между точками  $x_j$  и  $x_{j+1}$  в многомерном физическом пространстве;

*r* — коэффициент корреляции.

Как можно видеть, при r = 1, d' = 0, из чего будет следовать, что изменчивость объектов идентична, и они принадлежат одному классу.

Классификация производится иерархическим агломеративным методом, то есть объекты классификации последовательно объединяются до тех пор, пока они не станут образовывать одну группу. Был использован метод Уорда (Ward's method). Данный алгоритм минимизирует сумму квадратов расстояния для двух кластеров, формирование которых происходит на каждом шаге. Сумма квадратов при этом определяется как

$$SS = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{p} (x_{i,j} - \overline{x}_{j,k})^2$$
(2.3)

где k – номер кластера;

*i* – номер объекта;

*j* – номер признака;

р – количество признаков, характеризующих каждый объект,

*n* — количество объектов в k-м кластере.

При работе алгоритма исходно принимается, что, каждый объект представляет собой один кластер. Далее два ближайших кластера объединяются. Для них определяются средние значения каждого признака, и рассчитывается сумма квадратов по формуле 2.3. И далее на каждом шаге работы алгоритма объединяются те кластеры, которые дают наименьшее приращение суммы квадратов. Таким образом, метод Уорда приводит к образованию кластеров примерно равных размеров с минимальной внутриклассовой дисперсией. [15] В данной работе кластерный анализ данных производился с помощью библиотеки SciPy языка программирования Python 3.

#### 3 Оценка длительности зимнего периода в СЕБ

Разделение временных рядов на летний и зимний сезон, как было описано в пункте 2.2, кроме своей непосредственной цели, позволило исследовать изменение продолжительности зимнего (летнего) сезона по изменению сплоченности льдов на акватории Северо-Европейского бассейна. Эти оценки были выполнены для всех точек исследуемой акватории (рис. 3.1–3.6) за весь исследуемый период времени с 1979 по 2018 гг.



Рисунок 3.1 — Продолжительность зимы на акватории Северо-Европейского бассейна в 1979-80 году.

На рисунках можно видеть, что в целом продолжительность зимы на акватории со временем заметно изменилась. В 1979 году (рис. 3.1) область севернее 80°с.ш. и у берегов Гренландии характеризовалась холодными периодами длительностью в 8 и 9 месяцев, с небольшими областями, где продолжительность зимы была 7 месяцев. По мере продвижения на юг, продолжительность зимы закономерно уменьшается, минимальную

длительность можно видеть в приатлантической части Гренландского моря (6-5 месяцев) и в южной части Баренцева моря (от 3 до 6 месяцев).

Позднее продолжительность зимы на акватории изменяется, но в целом достаточно стабильна. В некоторые годы, например, в 1985-86 году (рис. 3.2) длительная зима наблюдаются еще южнее, до 77° с.ш.



Рисунок 3.2 — Продолжительность зимы на акватории Северо-Европейского бассейна в 1985-86 гг.

К 1993–94 году (Рисунок 3.3) можно видеть, что продолжительность зимы в северном и восточно-гренландском районах заметно уменьшилась — до 6–8 месяцев. При этом на акватории южной части Баренцева моря и приатлантической части Гренландского моря продолжительность зимних периодов осталась практически неизменной.



Рисунок 3.3 — Продолжительность зимы на акватории Северо-Европейского бассейна в 1993–94 гг.

Далее, до зимы 2005-06 на акватории снова отмечаются продолжительные зимы, от 4 до 6 месяцев в зонах, где максимально влияние теплых вод Атлантики и 7–9 месяцев – в приарктических зонах. Начиная с зимы 2005–06 гг. (Рисунок 3.4) и в приарктической зоне начинают наблюдаться области с шести- и семимесячными зимами, а после 2011 года (рис. 3.5) в приатлантических областях продолжительность зимы заметно убывает, до 2-4 месяцев.



Рисунок 3.4 — Продолжительность зимы на акватории Северо-

Европейского бассейна в 2005-06 гг.



Рисунок 3.5 — Продолжительность зимы на акватории Северо-Европейского бассейна в 2011-12 гг.



Рисунок 3.6 — Продолжительность зимы на акватории Северо-Европейского бассейна в 2016-17 гг.

В конечном итоге, сравнивая карты продолжительности зимы в 1979-80 и 2016-17 гг. (Рисунок 3.6 и 3.6) можно говорить о том, что в целом, на акватории произошло сокращение продолжительности зимы на 1–2 месяца. Уменьшилась площадь районов с длительной (9 месяцев) зимой. Для арктического района (севернее 80° с.ш.) характерной стала продолжительность холодного периода в 6–8 месяцев. В приатлантическом районе стала характерна продолжительность от 1 (на юге Баренцева моря) до 3-4 месяцев. При этом для района у восточного побережья Гренландии средняя продолжительность холодного периода как была, так и осталась, в целом, 8 месяцев для большинства точек.

- 4 Пространственно-временная изменчивость сплоченности льда в СЕБ
- 4.1 Районирование акватории по типу изменчивости в холодный период

Для разделения сплоченности льда на акватории по принципу схожей временной изменчивости был выполнен кластерный анализ для летнего и зимнего периода года отдельно.

На рис.Рисунок 4.1 представлена дендрограмма классификации сплочённости льдов в зимний период, полученная методом Уорда с метрикой 1-



Рисунок 4.1 – Дендрограмма классификации зимней сплоченности льдов

Для оценки эффективности классификации был произведен расчет коэффициентов межклассовой корреляции для разделения на два и три класса.

На первом этапе разделения, на два класса — Гренландский и Баренцевоморский, межклассовая корреляция составила R = 0.35. На следующем этапе, при дальнейшем разделении Гренландского класса на два R = 0.85, что

говорит о нецелесообразности их разделения. Межклассовая корреляция Севернобаренцевоморского и Южнобаренцевоморского района составила R=0.5. Таким образом, зимняя сплоченность льдов на акватории СЕБ была разделена на три класса.

Соответствующее полученной классификации пространственное распределение классов на акватории СЕБ представлено на рисунке 4.2. Первый класс расположен у восточного и северо-восточного побережья Гренландии, простираясь на восток в приполярной области до Шпицбергена. Второй класс имеет располагается на северной части акватории Баренцева моря и прилегающей части Северного Ледовитого океана, третий — вблизи южного побережья Баренцева моря.



Гренландский класс
 Северобаренцевоморский класс

• Южнобаренцевоморский класс

Рисунок 4.2— Распределение классов, различных по временной изменчивости для зимней сплоченности льда на акватории Северо-Европейского бассейна.

Для выявления характера изменчивости сплоченности льдов в классах 1 и 2 было произведено осреднение временных рядов внутри каждого класса, построены графики (рис.4.3, 4.4) и оценены параметры межгодовой изменчивости сплоченности льда (табл 4.1).



Рисунок 4.3 — Временная изменчивость сплоченности льдов в
 Северобаренцевоморском и • Южнобаренцевоморском классе в зимний период



Гренландском классе в зимний период

Таблица 4.1 – Характеристики временной изменчивости сплоченности льдов на акватории СЕБ в холодный период. Статистически значимые величины (при уровне значимости 5%) выделены полужирным шрифтом.

Класс	Среднее		Стандартное	Коэффициент		Коэффициент		Периоды
	значение		отклонение	линейного		детерминации		колебаний,
				тренда		тренда		лет
Северобаренцево-	1979-	1999-	1979-2016	1979-	1999-	1979-	1999-	11,9
морский	1998	2016		1998	2016	1998	2016	5,4
	0,85	0,71	0,10	-7·10 <sup>-5</sup>	-0,013	0,01	0,71	4,06
Южнобаренцево-	1979-	-2016	1979-2016	1979	-2016	1979-	-2016	5,4
морский	0,	51	0,11	-0,	005	0,4	48	
Гренландский	1979-	-2016	1979-2016	1979	-2016	1979-	-2016	10,2
	0,75		0,04	-0,0	0003	0,0	07	6,4
								3,22

Рассматривая результаты анализа изменчивости льдов Северобаренцевоморского и Гренландского классов, можно видеть, что в данных районах моря льды обоих классов имеют одинаковое среднее значение, но их временная изменчивость имеет заметно различный характер.

Сплоченность льда в Северобаренцевоморском районе характеризуется двумя локальными трендами, демонстрирующими, что в период с 1979 по 1998 год сплоченность практически не изменялась, а с 1999 года начала стремительно убывать со скоростью 0.013 год<sup>-1</sup>. Таким образом, в начале исследования среднее значение сплоченности льда было 85%, а к 2018 г. – 60%. При спектральном анализе были выявлены колебания с периодом 4 года. При сравнении с изменчивостью Южнобаренцевоморского района, отрицательный тренд которого непрерывный за исследуемый период времени, можно сказать, что уменьшение сплоченности льдов на севере в последние году происходит почти в три раза быстрее, чем на юге.

Изменчивость сплоченности льдов Гренландского класса демонстрирует отсутствие долгопериодной изменчивости. Спектральный анализ показал наличие колебаний с периодом 10 лет (табл.4.1).

Таким образом, несмотря на уменьшение длительности зимнего периода, что может быть связано с глобальным потеплением, сплоченность льда в бассейне Гренландского моря зимой практически не меняется, а в Баренцевоморском районе за 40 лет уменьшилась на 25% в северном районе моря. 4.2 Районирование акватории по типу изменчивости в теплый период

Аналогично, и для летней сплоченности льдов была построена дендрограмма (рис. 4.5). Для определения оптимального количества классов был осуществлен поиск межклассовой корреляции. На первом этапе, при разделении на два класса (аналогично разделению в холодный период), коэффициент корреляции между классами составил R = 0.23. Далее было произведено разделение второго класса на два, корреляция между которыми составила R = 0.67. На этом этапе разделение было прекращено.



Рисунок 4.5 — Дендрограмма классификации летней сплоченности льдов

При построении карты распределения классов на акватории, можно видеть, что выделенный Северогренландский класс занимает приполярную часть Гренландского моря и небольшую область у северо-восточного побережья Гренландии, вдоль остальной части простираются льды, принадлежащие Южногренландскому классу. Баренцевоморский класс занимает обширный районы вокруг Земли Франца-Иосифа, область южнее Шпицбергена и южную часть Баренцева моря, а также присутствует небольшая область, отделенная от основной группы, которая находится вблизи острова Ян-Майен, в Гренландском море.



Южногренландский класс
 Баренцевоморский класс

Рисунок 4.6 — Распределение классов летней сплоченности на акватории Северо-Европейского бассейна.

Для исследования временной изменчивости сплоченности льдов в классах, по осредненным данным (рис.4.7—4.9) были рассчитаны параметры, представленные в табл. 4.2.

Можно видеть, что льды Баренцевоморского и Южногренландского района имеют практически равное среднее значение (0.25 и 0.31, соответственно) и характеризуются уменьшением сплоченности льда, при этом тренд в Баренцевом море более чем в 2 раза мощнее, чем на юге Гренландского моря. Льды Северогренландского района имеют вдвое большую сплоченность, чем Южногренландского (0.63 и 0.31, соответственно). При этом и характер их весьма разнится. Сплоченность льдов Северогренландского района медленно увеличивается, а Южногренландского, напротив, убывает. Спектральный анализ (табл.4.2) продемонстировал присутствие сильной периодической составляющей в изменчивости сплоченности Баренцевоморского класса с периодом 5.4 года. Изменчивость в Южногренландском и Северогренландском классе выражена слабее и составляет 6 и 6.5 лет соотвественно.

Таблица 4.2 – Характеристики временной изменчивости сплоченности льдов на акватории СЕБ в теплый период. Статистически значимые величины (при уровне значимости 5%) выделены полужирным шрифтом.

Класс	Среднее	Стандартное	Коэффициент	Коэффициент	Периоды
		отклонение	линейного	детерминации	колебаний,
			тренда	тренда	лет
Баренцевоморский	0,25	0,11	-0,005	0,52	5,4
Южногренландский	0,31	0,09	-0,002	0,24	15,6
					6,0
Северогренландский	0,63	0,09	0,003	0,31	13,3
					6,6
					5,5



Рисунок 4.7 — Временная изменчивость сплоченности льдов в

Баренцевоморском классе в летний период



Рисунок 4.8 — Временная изменчивость сплоченности льдов в Южногренландском классе в летний период



Рисунок 4.9 — Временная изменчивость сплоченности льдов в Северогренландском классе в летний период

Сравнивая характеристики пространственно–временной изменчивости распределения классов за зиму и лето, можно видеть, что Баренцевоморский класс характеризуется малой географической изменчивостью от сезона к сезону, а также стабильными отрицательным трендами со схожими значениями.

Гренландский же район в летний период разделяется на два класса с противоположной друг другу изменчивостью — в северной области происходит увеличение сплоченности, а в южной уменьшение. В зимний период на этой части акватории долгопериодная изменчивость сплоченности льдов отсутствует.

## 5 Связь сплоченности льда в СЕБ с гидрометеорологическими характеристиками

Изменчивость сплоченности льда в Северо-Европейском бассейне может определяться разными факторами окружающей среды, среди которых температура воздуха, ветровой дрейф льда, вынос холодного воздуха с ледников Гренландии, вынос арктического льда из Северного Ледовитого океана через пролив Фрама.

5.1 Связь с температурой воздуха.

Для определения связи изменчивости сплоченности льдов с температурой воздуха были получены ряды значений температуры воздуха за зимний (в среднем, над акваторией Гренландского класса с ноября по июнь) и летний период (с июля по октябрь) на акватории 84.75°с.ш., 22.5°з.д — 72.75 °с.ш., 10 .5°в.д. (рис.5.1).



Рисунок 5.1 — Временная изменчивость аномалий температуры воздуха

Таблица 5.1 — Коэффициенты связи изменчивости сплоченности в классах на акватории СЕБ и аномалий температуры воздуха.

Сезон	Класс	R	
а	Южнобаренцевоморский	0,01	8
Зим	Северобаренцевоморский	-0,4	0
	Гренландский	-0,6	52
0	Баренцевоморский	-0,1	1
Іета	5 Южногренландский		60
	Северогренландский	-0,5	50

Результаты корреляции между временной изменчивостью сплоченности льдов в классах и аномалиями температур представлена в табл. 5.1. Можно видеть, что, закономерно, максимальные отрицательные коэффициенты корреляции наблюдаются на акватории Гренландского моря, связь аномалий температур, осредненных по выбранной области с сплоченностью льдов восточной части СЕБ слабее.

## 5.2 Связь с ветром

Временной ряд меридиональной и зональной компоненты скорости ветра был получен как зимних и летних значений (аналогично осреднению температуры) по акватории с координатами 84.75°с.ш., 22.5°з.д. — 68.25°с.ш., 10.5°в.д. Положительный или отрицательный знак параметра соответствует направлению скорости ветра: для меридиональной компоненты — положительные значения для южного ветра, отрицательные — для северного; для зональной компоненты — положительные для западного ветра, отрицательные — для восточного.



Рисунок 5.2 — Временная изменчивость зональной компоненты скорости ветра



Рисунок 5.3 — Временная изменчивость меридиональной компоненты скорости

ветра

Корреляция между значениями сплоченности на акватории СЕБ за и скоростей ветра представлена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 — Коэффициенты связи изменчивости сплоченности в классах на акватории СЕБ и компонент скорости ветра

	Класс	R		
Сезон		Меридиональная	Зональная	
		компонента	компонента	
Зима	Южнобаренцевоморский	-0,50	0,29	
	Северобаренцевоморский	-0,26	0,07	
	Гренландский	0,10	-0,30	
Лето	Баренцевоморский	-0,10	0,11	
	Южногренландский	0,17	-0,56	
	Северогренландский	0,34	-0,45	

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что зимой в восточной части СЕБ, особенно в южной части Баренцева моря происходит увеличение сплоченности льдов при интенсификации северных ветров. В Северобаренцевоморском районе эта связь выражена слабее, но тоже присутствует. Также обнаружена слабая связь между западными ветрами и сплоченностью льдов Южнебаренцевоморского района. В Гренландском классе зимой выявлена связь с восточными ветрами.

Летом значимых связей в Баренцевоморском районе выявлено не было. В гренландских классах выявлена связь с восточными ветрами, их усиление вызывает уменьшение сплоченности льда. Этому также способствует и усиление северных ветров, преимущественно отмечающихся в этом районе.

### 5.3 Вынос льда из Северного Ледовитого океана через пролив Фрама

Известно, что в общей циркуляции Северного Ледовитого океана отмечается постоянный значительный вынос льда через пролив Фрама в СЕБ [11]. Чтобы оценить межгодовую изменчивость этого процесса и связь со сплоченностью льда в Гренландском море, проведена оценка расхода через пролив Фрама.



Рисунок 5.4 — Карта распределения осредненной (с 1979 по 2017 гг.) меридиональной составляющей скорости течения. Красная линия — разрез для расчета потока.



Рисунок 5.5 — Осредненное за период 1979—2017 гг. распределение расхода воды через разрез в проливе Фрама. Красным обозначена расчетная область.

Исходные данные были представлены среднемесячными значениями меридиональной составляющей скоростей течения через разрез на широте 79.5°с.ш. (рис. 5.4) от восточного побережья Гренландии до запада Шпицбергена (19.5°з.д — 14.5°в.д) до глубины 200 м. Расход рассчитывался как произведение площади вертикальной ячейки разреза на нормальную (меридиональную) составляющую скорости течения в центре этой ячейки.

Осредненный по всему периоду исследования профиль расхода воды можно видеть на рис.5.5. На нем ярко выражено Восточно-Гренландское течение, которое характеризуются сильными отрицательными значениями потока на долготе 5 – 7 з.д. и простирающееся от поверхности до дна с максимумом в толще 0—30 м. На западе от него, вблизи побережья Гренландии, наблюдаются слабое противотечение, которое может быть создано движением вод с шельфа Гренландии. На востоке, от 5°в.д., выделяется более интенсивное Шпицбергенское течение, охватывающее всю толщу воды.

Область для расчета интегрального расхода выделена на рис.5.5 красной рамкой. Это область была выбрана потому, что характеризуется максимальными значениями интенсивности движения вод из Северного Ледовитого океана.

Временные ряды изменчивости суммарного расхода воды по исследуемой области представлены на рис. 5.6. Заметно, что за исследуемый период в оба сезона с 1979 по 2008 гг. происходило увеличение значений, то есть интенсификация выноса вод с севера, а в 2008-2017 гг. наблюдается уменьшение значений.



Рисунок 5.6 — Временная изменчивость расхода воды в исследуемой области.

корреляции Результат между сезонными значениями расхода И сплоченностью льдов в классах представлен в таблице 5.3. Значительные связи выявлены между изменчивостью сплоченности в Северогренландском и Южногренландском классах летом, причем связь в северном районе сильнее. Отрицательный знак корреляции говорит о том, что по мере роста интенсивности расхода, растет и сплоченность льдов. Для изменчивости сплоченности на акватории Гренландского класса в зимний сезон, характерны аналогичные процессы. Однако, в зимний период выделяется связь между уменьшением интенсивности расхода и ростом сплоченности в Южнобаренцевоморском районе, но этот процесс трудно поддается объяснению.

Для оценки вкладов каждого гидрометеорологического параметра в динамику сплоченности была рассчитана множественная линейная регрессия для сплоченности льдов каждого класса для каждого сезона. В таблице 5.4 представлены предикторы, демонстрирующие наибольшие вклады в дисперсию при расчете модели методом включения. Таблица 5.3 — Коэффициенты связи изменчивости сплоченности в классах на акватории СЕБ и расхода через разрез

Сезон	Класс	R
-	Южнобаренцевоморский	0,42
Зима	Северобаренцевоморский	0,27
(')	Гренландский	-0,41
	Баренцевоморский	0,21
Іето	Южногренландский	-0,36
	Северогренландский	-0,57

Результаты демонстрируют, что зимой наибольшие вклады в динамику изменчивости сплоченности Северобаренцевоморских и Гренландских льдов вносят аномалии температуры воздуха, а Южнобаренцевоморских — меридиональная компонента ветра. Летом в Северогренландском классе наибольший вклад имеет расход через разрез в проливе Фрама, а в Южногренландском классе — аномалии температуры.

Таблица 5.4 — Вклад предикторов в дисперсию модели МЛР

Сезон	Класс	Предиктор	Доля дисперсии, описываемой предиктором	Дисперсия, описываемая моделью
Зима	Южнобаренцевоморский	Меридиональный ветер	0,25	0,33
	Северобаренцевоморский	Аномалии температуры воздуха	0,15	0,30
	Гренландский	Аномалии температуры воздуха	0,39	0,51
Лето	Баренцевоморский	Расход через пролив Фрама	0,05	0,11
	Южногренландский	Аномалии температуры воздуха	0,36	0,47
	Северогренландский	Расход через пролив Фрама	0,32	0,45

Таким образом, на основе вышеприведенных расчетов можно сказать, что сплоченность льдов на акватории Гренландского моря в летний и зимний сезон

имеет значимые связи с потоком вод из Северного Ледовитого океана через пролив Фрама, интенсификация которых коррелирует с ростом сплоченности льдов. Интенсивность западных ветров также имеет связь с ростом сплоченности в оба сезона, а летом проявляется связь сплоченности с северными ветрами. Сплоченность льдов классов южной акватории Баренцева моря в зимний период продемонстрировала наличие связи с интенсификацией северного ветра над Гренландским морем.

#### Заключение

В данной работе на акватории Северо-Европейского бассейна было выявлено уменьшение продолжительности зимы (периода большой сплоченности льдов) на 1-2 месяца по акватории в среднем, сокращение областей с длительной (9 месяцев) зимой. В полярных районах к 2018 г. средняя продолжительность зимы составила 6-8 месяцев, в приатлантических — 3–4 месяца.

Было выявлено существование районов, характеризующихся различной изменчивостью сплоченности льда. В результате классификации сплоченности льдов в теплый сезон были выявлены Баренцевоморский, Северогренландский и Южногренландский классы, В холодный Гренландский, Северобаренцевоморский. Южнобаренцевоморский И Изменчивость сплоченности льдов в выделенных классах имеет различный характер. В теплое время года сплоченность льдов за период с 1979 по 2018 гг. Северогренландского класса характеризуется медленным ростом (0.003 год<sup>-1</sup>), Южногренландского – медленным убыванием (-0.002 год<sup>-1</sup>), также как и Баренцевоморского класса (-0.005 год<sup>-1</sup>). То есть, сплоченность льдов в Баренцевом море за исследуемый период характеризуется непрерывным уменьшением, а в Гренландском море присутствуют области с противоположным характером изменчивости. Во всех районах отмечаются циклические колебания с периодом 5-6 лет.

В зимнее время В изменчивости сплоченности льдов Северобаренцевоморского бассейна за 1979–2018 гг. было выявлено два локальных тренда: отсутствие изменчивости в период с начала исследования до 1998 года, после которого последовало быстрое (-0.013 год<sup>-1</sup>) уменьшение Южнобаренцевоморском районе льда. В за сплоченности весь период исследования сплоченность уменьшалась со скоростью -0.005 год<sup>-1</sup>, в Гренландском районе тренд выявлен не был. Таким образом, несмотря на сокращение длительности зимнего периода, сплоченность льдов в бассейне Гренландского моря практически не изменяется, а на акватории Баренцева моря

45

средняя сплочённость за исследуемый период сократилась на четверть. В изменчивости льдов Северобаренцевоморского и Гренландского классов были обнаружены колебания с периодом 4 и 10 лет, соответственно.

Результаты поиска связей между сплоченностью льда И гидрометеорологическими характеристиками Северона акватории Европейского бассейна показали, что зимой сплоченность льдов Гренландского класса преимущественно возрастает из-за отрицательных аномалий температуры воздуха, затем при усилении восточных ветров и росте расхода через пролив Фрама. В Северобаренцевоморском классе сплоченность льдов также в основном увеличивается при отрицательных аномалиях температуры воздуха и во вторую очередь при усилении северного ветра. В Южнобаренцевоморском классе сплоченность льдов возрастает при интенсификации ветра северного направления.

Летом сплоченность льдов Северогренландского и Южногренландского класса показала рост преимущественно при увеличении расхода через пролив Фрама. Положительные аномалии температуры воздуха, а также усиление западного ветра уменьшают сплоченность льда. В Баренцевоморском классе значимая связь с гидрометеорологическими параметрами не выявлена.

Список литературы

 Алексеев Г.В., Радионов В.Ф., Александров Е.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е. Изменения климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. №1 (103).

2. Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. №1.

3. В.А. Волков, А.В. Мушта, Д.М. Демчев, А.Я. Коржиков, С. Сандвен Связь крупномасштабной изменчивости поля дрейфа льда в Северном Ледовитом океане с климатическими изменениями общей ледовитости, происходящими в течение последних десятилетий // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. №2(108).

4. Каган Б.А., Рябченко В.А., Сафрай А.С. Реакция системы океанатмосфера на внешние воздействия. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1990.

5. Северо-Европейский бассейн // Мегаэнциклопедия Кирилла и Мефодия URL: <u>https://megabook.ru/article/Северо-европейский%20бассейн</u>

6. Greenland maps // Geology and Earth Science News and Information URL: <u>https://geology.com/world/greenland-satellite-image.shtml</u>

7. Залогин Б.С., Косарев А.Н. Моря. М.: Мысль, 1999.

 Г. С. Харин, Д. В. Ерошенко История эруптивного магматизма Ян-Майенской горячей точки (полярная Атлантика) // Вулканология и сейсмология.
 2014. №2.

9. Гренландское море // http://proznania.ru/?page\_id=2351

10. GLOBAL OCEAN PHYSICS REANALYSIS GLORYS12V1 //Copernicus Marine Environment Monitoring Service URL:http://resources.marine.copernicus.eu/?option=com csw&view=details&product id=GLOBAL REANALYSIS PHY 001 030

11. Е.У.Миронов. Ледовые условия Гренландского и Баренцева морей и их долгосрочный прогноз.. СПб: ААНИИ, 2004.

12. The ERA-Interim archive Version 2.0 // ECMWF URL: <a href="https://www.ecmwf.int/en/elibrary/8174-era-interim-archive-version-20">https://www.ecmwf.int/en/elibrary/8174-era-interim-archive-version-20</a>

13. ERA Interim, Monthly Means of Daily Means // ECMWF URL: https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-moda/levtype=sfc/

14. ORAS4//ECMWFURL:http://www.ecmwf.int/products/forecasts/d/charts/oras4/

15. Вайновский П.А., Малинин В.Н. Методы обработки и анализа океанологической информации. Многомерный анализ. Л.: РГГМИ, 1992.