



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра ПО ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему Временная изменчивость промысловых видов рыб на Канарском апвеллинге

Исполнитель Мельников Дмитрий Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

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

Чанцев Валерий Юрьевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

« ____ » _____ 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Физико-географическое описание района исследования.....	5
1.1 Район Апвеллинга	5
1.2 Батиметрия	6
1.3 Влияние Течений на исследуемый район.....	7
1.4. Межгодовая изменчивость термических условий.....	11
1.5. Межгодовая изменчивость интенсивности апвеллинга.....	11
1.6 Канарский апвеллинг как промысловый район	13
Глава 2. Основные промысловые виды рыб и их характеристика.....	14
Европейская сардина	14
Восточная скумбрия	16
Европейский анчоус.....	17
3 Глава. Материалы и методы.....	19
Глава 4 Анализ взаимосвязи уловов и интенсивности апвеллинга	23
4.1 Анализ временной структуры рядов уловов	23
4.2 Анализ временной структуры интенсивности апвеллинга.....	31
4.3 Анализ связи уловов промысловых видов рыб и интенсивности апвеллинга.....	33
Заключение	36
Список литературы	37

Сокращения

TUI - (анг.thermal upwelling index) – Термический индекс апвеллинга

ТПО - ((SST) англ. Sea surface temperature) - Температура поверхности океана

FAO - (англ.) Food and Agriculture Organization of the United Nations–
Продовольственная и Сельскохозяйственная организация ООН

ИЭЗ - Исключительная экономическая зона

ITCZ - Зона межтропической конвергенции

Введение

Район Канарского апвеллинга является важным промысловым районом. Поднятие холодных, насыщенных биогенами вод способствует высокой продуктивности района. Высокая первичная продуктивность прибрежных апвеллинговых систем поддерживает промысел мелких пелагических видов, являющихся основным экономическим ресурсом обеспечивающим около 20 % мирового вылова рыбы менее чем на 3 % площади мирового океана. Лов рыбы **в исследуемом районе** осуществляют множество стран, такие как: Марокко, Португалия, Российская Федерация, Испания. Основными промысловыми видами в данном районе, исходя из литературных источников и базы данных FishstatJ, являются Европейская сардина, Восточная скумбрия и Европейский анчоус.

Главной задачей данного исследования, является выявление зависимости между интенсивностью апвеллинга и годовыми уловами промысловых видов рыб.

Для достижения цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить физико-географические особенности района;
2. Проанализировать условия жизнедеятельности рыб;
3. Оценить межгодовую изменчивость интенсивности апвеллинга;
4. Оценить временную структуру рядов уловов и интенсивности апвеллинга;
5. Проанализировать взаимосвязь межгодовых уловов и интенсивности апвеллинга.

Глава 1. Физико-географическое описание района исследования

1.1 Район Апвеллинга

Система Канарского апвеллинга получила свое имя в честь Канарского течения, являющегося восточной ветвью Субтропического вихря в Северной Атлантике. Эта система включает в себя апвеллинг у побережья Пиренейского моря (Португалия). Крупная морская экосистема этой системы апвеллингов охватывает широтный диапазон 12° – 43° северной широты, но северная, и южная границы находятся под влиянием сезонной изменчивости. Сезонная изменчивость пассатов зимой и летом (Рис. 1.1a) стимулирует выраженные прибрежные аномалии ТПО (Рис. 1.1b) с высокой сезонной изменчивостью, преимущественно в южной части системы (Рис. 1.1b), впервые описанной Вустером и др. на основе многолетних измерений, ветровой нагрузки и течений. Вся территория делится на две самостоятельные области апвеллинга. Это разделение связано с прерыванием береговой линии в Гибралтарском проливе, обеспечивающем обмен водами между Средиземным морем и Атлантическим океаном [1].

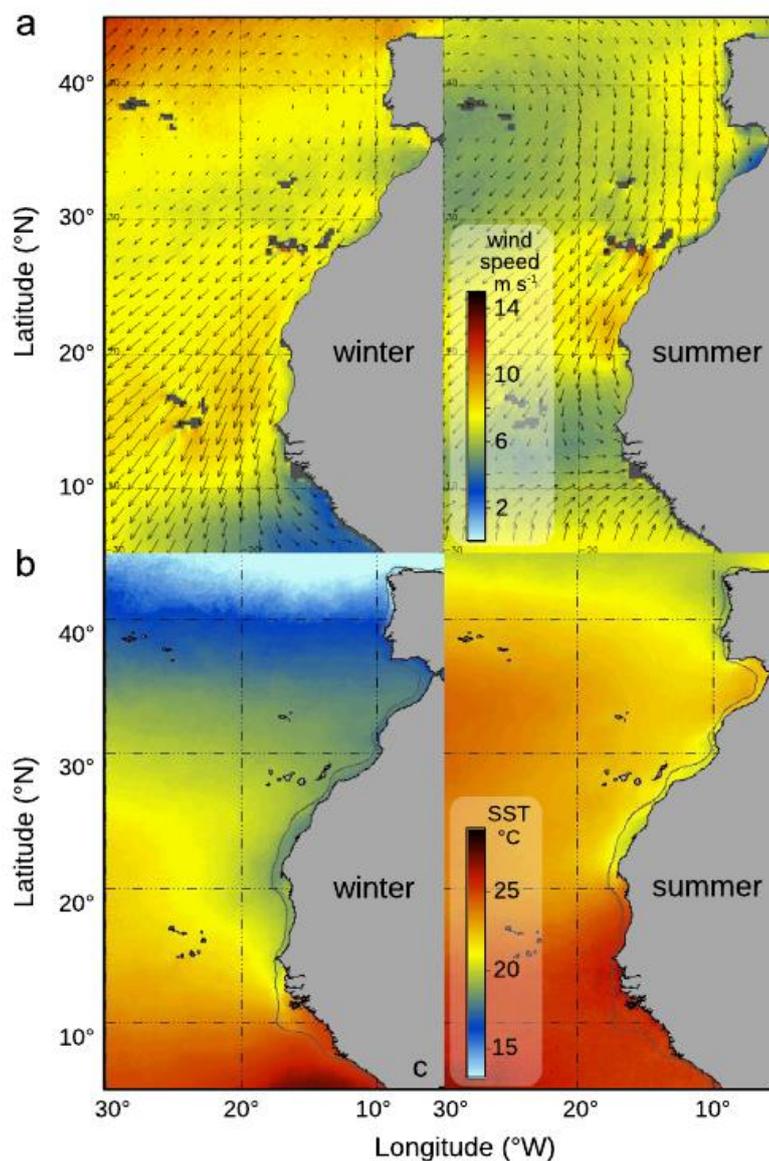


Рисунок.1.1 Карты сезонных колебаний ветра (a) и температуры (b) в районе Канарского апвеллинга.

1.2 Батиметрия

Северо-западная африканская/южная иберийская окраина находится на границе с континентальным шельфом, шириной 40–60 км, максимальная ширина шельфа более 100 км приходится на западное побережье Сахары. Минимальная ширина шельфа (менее 20 км) наблюдается у западной португальской окраины, а также у Кабо-Верде и Кабо-Гира на северо-западной африканской континентальной границе. Уклон шельфа в сторону

моря около 1° , глубина обычно около 100-200 м. Континентальный склон имеет углы наклона от 1° до 6° [1].

Регионы прилегающие к системе каньонов Западной Сахары, имеют углы наклона достигающие 40° . Пространственная ориентация побережья преимущественно меридиональная, исключения это северное и южное иберийское побережья, которые носят зональный характер. Еще одной особенностью, имеющей существенное топографическое значение, является Канарский архипелаг на 28° северной широты, который находится в переходной зоне между прибрежными и океаническими водам [1].

Шельф северо-западной Африки имеет ширину 40–60 км, но колеблется от 13 км на мысе Гир ($30,5^\circ$ с.1982 г.) до 120 км между мысом Бохадор и чуть южнее мыса Бланк. Край шельфа находится на глубинах от 150 м у побережья Марокко, 110 м у побережья Сахары, от 130 до 150 м у Сенегала. По сравнению с другими регионами апвеллинга на восточной границе, северо-западный африканский шельф относительно неглубокий со средней глубиной всего 60–80 м. Склон имеет многочисленные каньоны и овраги, за исключением участка между 25° ю.ш. и мысом Бланк [1].

1.3 Влияние Течений на исследуемый район

Как описал Экман (1905), а позже Баун (1973), холодная и насыщенная биогенами апвеллинговая вода вдоль прибрежного шельфа является результатом воздействия вдольберегового пассата. Сила и положение ветра, зависят от широтной миграции Зоны межтропической конвергенции и связанной с ней Азорской областью высокого давления, обе колеблются между своим самым северным и самым южным положениями летом и зимой соответственно (Рис. 1.2), генерируя сезонный ветер. Однако в более длительных временных масштабах, исходя из исследований керна, следует, что вызванные апвеллингом температуры у берегов Марокко изменяются в противофазе с температурными аномалиями в северном

полушарии, так, что теплые условия существовали во время малого ледникового периода, а холодные условия во время средневекового теплого периода. На протяжении всего 20 века наблюдалось похолодание и усиление апвеллинга, что коррелирует с увеличением скоростей ветра на мысе Гир [1,2].

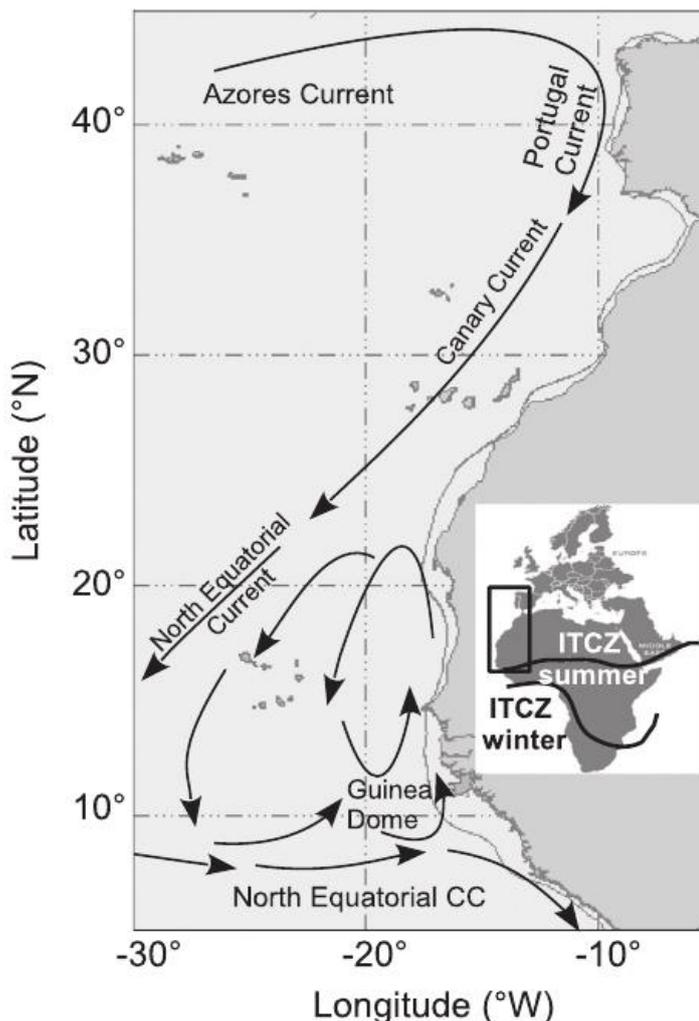


Рисунок 1.2 Карта течений и широтных миграций зоны межтропической конвергенции.

Прибрежный район между 20° и 30° северной широты имеет благоприятные для апвеллинга ветровые напряжения круглый год. Максимальные величины наблюдаются к северу от 21° с.ш. бореальным летом, и к югу от 21° с.ш. бореальной зимой. К югу от 15° северной широты

Зона межтропической конвергенции (ITCZ) становится основным фактором сезонности апвеллинга. Как следствие, южная граница апвеллинга смещается сезонно на север и на юг более чем на 1000 км. Апвеллинг Канарского течения достигает своей самой южной границы зимой, когда влияние пассата самое сильное. Затем он простирается далеко за мыс Бланк — в точку отделения Канарского течения от африканского побережья [1].

Над Пиренейским полуостровом (37° – 43° с.ш.) в весенние и летние месяцы преобладают благоприятные для апвеллинга экваториальные ветры, тогда как в остальные месяцы преобладают нисходящие ветры. Примечательно, что из-за разной ориентации западного и северного галисийского побережья, северные ветры вызывают апвеллинг у западного побережья, а восточные — у северного. Ориентация побережья резко меняется севернее мыса Финистерре таким образом, что здесь дуют благоприятные как северные, так и восточные ветры. Аналогичные соображения применимы к мысу Сент-Винсент [1,2].

Основными крупномасштабными течениями, связанными с восточной частью антициклонического североатлантического субтропического круговорота, являются Североатлантическое течение, Азорское течение и Канарское течение (Рис. 1.3).

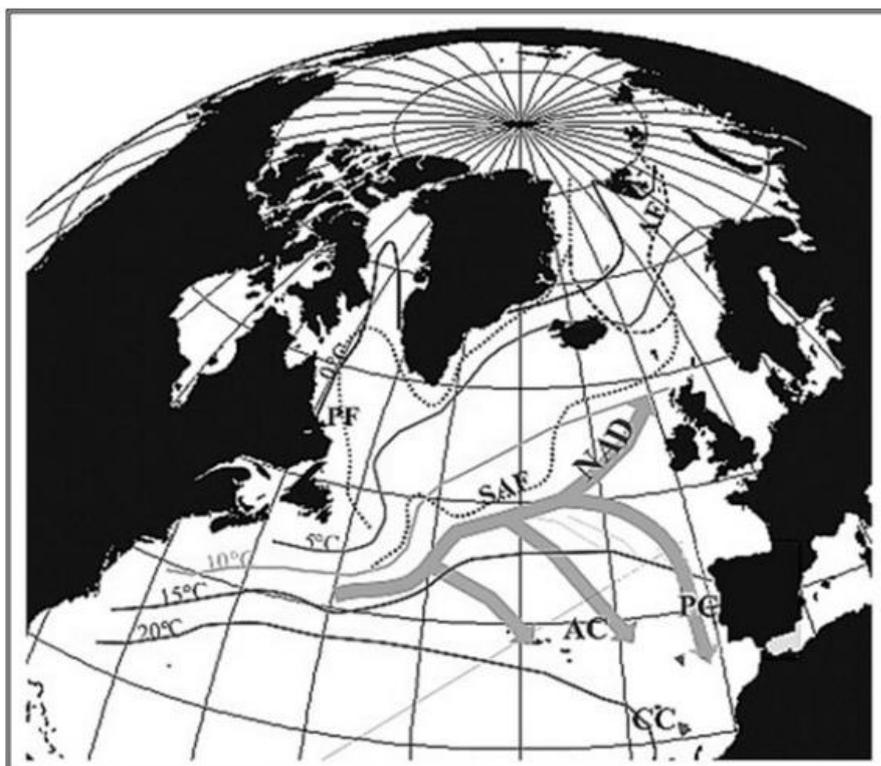


Рисунок 1.3 Структура ответвлений от Северного Атлантического течения. NAD- Северо Атлантический Дрифт. PC- Португальское течение, AC –Азорское течение, CC- Канарское течение, SAF- Субарктический фронт, PF- Полярный фронт, AF- арктический фронт, Линии на рисунке- Контуры ТПО.

Североатлантическое течение разделяется на три течения, текущие на юг, по мере того, как оно движется на восток через бассейн, образуя широкое, медленное и обычно движущееся на юг Португальское течение, а также Азорское течение на востоке. Португальское течение текущее на юг круглый год (от 45°–50° с.ш. до 10°–20° з.д) объединяет северную ветвь Североатлантического течения с Канарским течением, но его вклад невелик.

Канарское течение подпитывает также восточное ответвление Азорского течения, которое проходит к северу от Мадейры и вокруг нее. Общий перенос Канарского течения сезонно постоянен, хотя его геострофическая циркуляция меняется; летом он сильнее у побережья Африки, а зимой сильнее к западу от Канарских островов [1,2].

1.4. Межгодовая изменчивость термических условий

Температура поверхности воды в районе Канарского апвеллинга является важнейшим интегральным показателем, отражающим интенсивность и направленность процессов апвеллинга и адвекции вод [3].

Анализ многолетних рядов температуры воды в слое 0-200 м, охвативший период с 1965 по 1996 гг., выявил колебания термических условий, происходящих на разных глубинах синхронно, но с угасающей амплитудой. Межгодовая изменчивость этого показателя в районе Канарского апвеллинга отмечает заметный положительный линейный тренд со скоростью увеличения температуры на поверхности, составляющей 0,05 и 0,07°C в год, соответственно[3].

1.5. Межгодовая изменчивость интенсивности апвеллинга

Обычно, периоды похолодания коррелируют с увеличением интенсивности прибрежного апвеллинга, а периоды потепления, наоборот, его ослаблением. Начиная с середины 1950-х годов интенсивность апвеллинга росла, затем в начале 1960-х понизилась, а в конце 1960-х вернулась к своей среднеклиматической норме[3].

В первой половине 1970-х годов интенсивность апвеллинга снова значительно выросла, в 1975-1976 гг. произошло небольшое его ослабление, за которым последовал период новой активизации. Эта холодная климатическая эпоха с относительно высокой интенсивностью апвеллинга закончилась в 1979-1983 гг. Она сменилась теплой климатической эпохой с пиком пониженной интенсивности апвеллинга во второй половине 90-х годов и закончилась в середине 1998 г. (Рис. 3). В конце весны – начале лета 1998 г. произошла резкая смена апвеллингового режима, и наступил период относительно стабильно интенсифицированного апвеллинга, продлившийся до конца 2007 г.. В целом, вместе с отмеченной общей тенденцией к

потеплению поверхностного слоя вод, за период наблюдений с 1958 по 2003 гг. интенсивность апвеллинга проявляет тенденцию к снижению. Однако, динамика показателя интенсивности апвеллинга в более коротком временном масштабе свидетельствует о тенденции к его активизации за последние 20 лет (Рис. 3), создающей благоприятные в гидрохимическом аспекте условия для повышения биологической продуктивности вод[3].

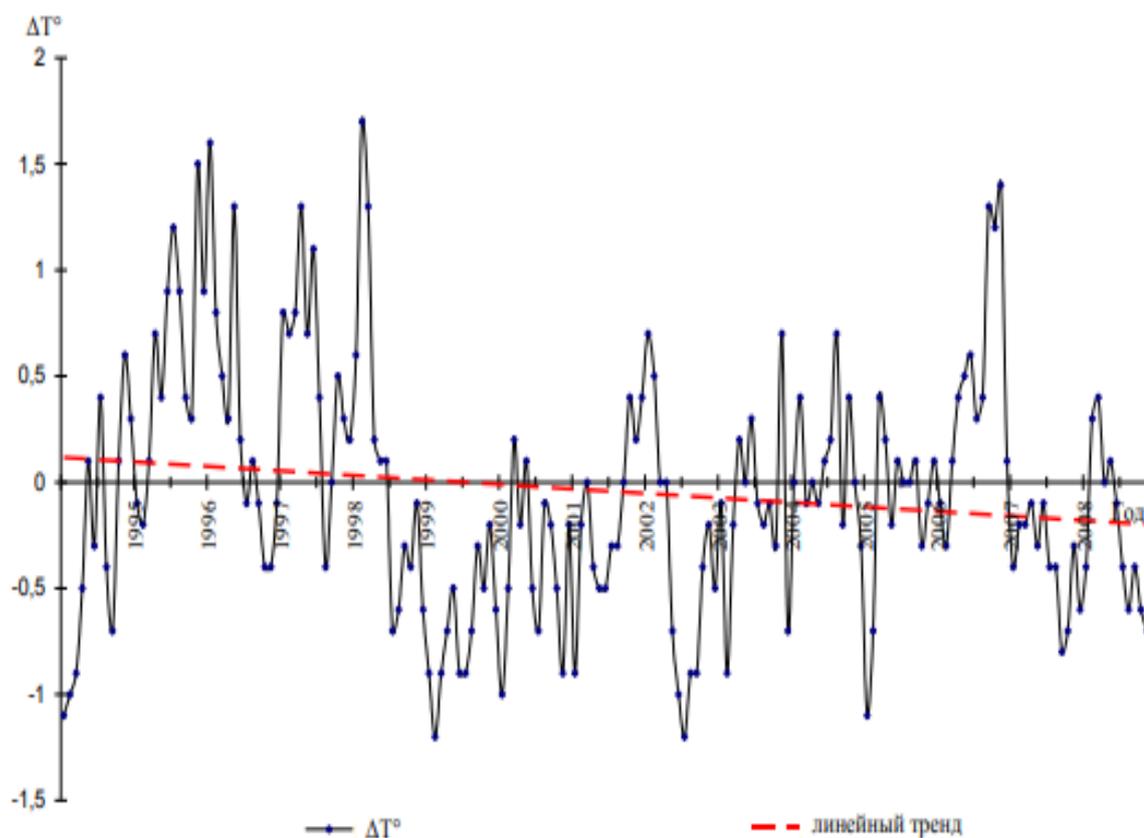


Рисунок 1.4 Изменчивость отклонений ТПО (ΔT°) у побережья Западной Сахары (21-26° с.ш.)

1.6 Канарский апвеллинг как промысловый район

Как и другие восточные пограничные апвеллинговые экосистемы, она характеризуется высокой биологической продуктивностью вод и относится к одному из важнейших районов международного рыболовства [5,6,7].

Система апвеллинга служит домом для разнообразных сообществ рыб, начиная от бореальных и умеренных групп в ее северной части и заканчивая субтропическими и тропическими группами на юге. Галисийский и португальский субрегионы содержат больше бореальных видов, но их видовое разнообразие ниже, чем в южных районах, а субрегионы Кадисского залива и Марокко составляют переходную зону между умеренными и субтропическими провинциями. Мавритано-сенегальская подобласть, которая имеет большой годовой градиент температур из-за сезонных сдвигов южной области апвеллинга, является сложной экосистемой, в которой преобладают субтропические и тропические виды, но некоторые мелкие пелагические виды умеренного пояса расширяют свой ареал до этой области.[5,7]

Как и в других прибрежных системах апвеллинга, экология системы апвеллинга Канарских течений демонстрирует отчетливую трофическую структуру «осиная талия». В целом европейская сардина (*Sardina pilchardus*) в настоящее время доминирует на трофическом уровне мелких пелагических рыб в большей части апвеллинга, за исключением южных районов у берегов Мавритании и Сенегала, где сардинелла (*Sardinella aurita* and *S. maderensis*) и атлантическая ставрида (*T. trachurus*) играют главенствующую роль. В то время как сардины используют фильтрацию для питания фитопланктоном, сардинелла и крупная ставрида в основном питаются зоопланктоном. [3]

Глава 2. Основные промысловые виды рыб и их характеристика

Основным объектом промысла в районе Канарского апвеллинга, являются пелагические рыбы. В данной работе, исходя из анализа базы данных FishstatJ, были выбраны основные промысловые виды, такие как: Европейская сардина, Восточная скумбрия, европейский анчоус. Описание и характеристика каждого исследуемого вида представлена ниже.

Европейская сардина

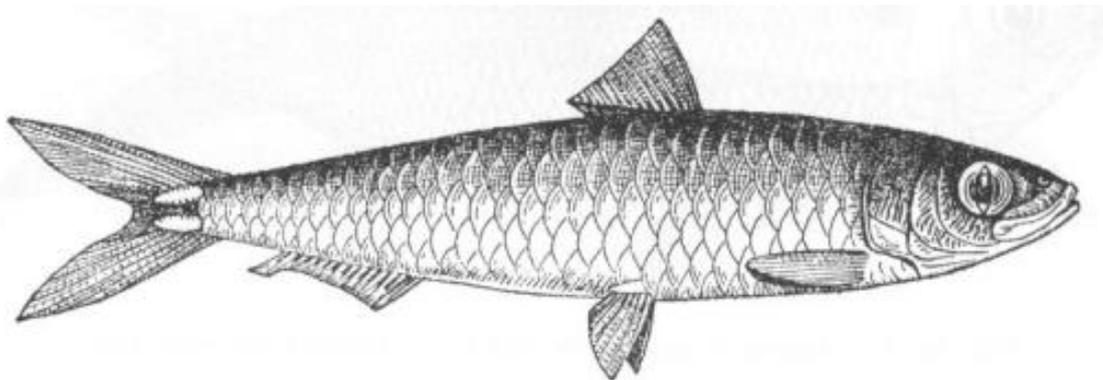


Рисунок 2.1 Европейская сардина – *Sardina pilchardus* [6]

Европейская сардина. Тело не сжато с боков, удлиненное. Брюшной киль развит на всем протяжении от горла до анального плавника. Рот небольшой. Отсутствуют зубы на челюстных и небных костях, а так же на сошнике. Мелкие щетинковидные зубчики имеются только на задней половине верхнечелюстной кости. Жировые веки прикрывают глаза. Голова имеет длину 18,6 – 20,9% от общей длины тела. Чешуя различных размеров, встречается как мелкая, так и крупная. Последние два луча анального плавника удлинены. Спина имеет зеленовато–синий окрас, брюхо и бока – серебристые. На жаберной крышке присутствуют радиальные бороздки, сбоку за ней, пятно и ряд темных пятен позади него [6].

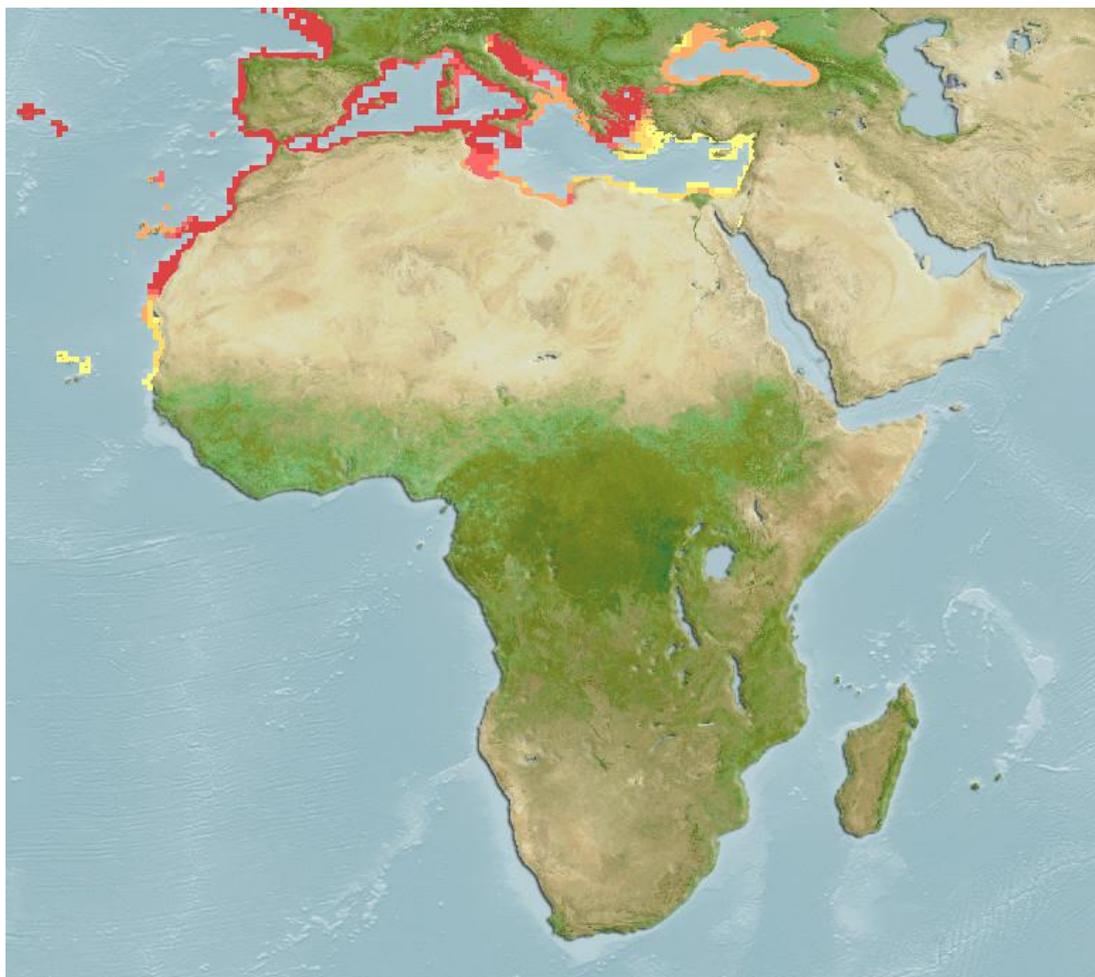


Рисунок 2.2 Ареал обитания Европейской сардины У Европейского и Африканского побережий.

Встречается данный вид в Восточной Атлантике, от побережья Северной Африки до Великобритании [6].

Прибрежная пелагическая рыба, держится обычно в толще воды, обитает на шельфе, в основном на глубинах до 100 м, но встречаются и в более удаленных от берега районах открытого моря. Питается зоопланктоном, в рационе преобладают веслоногие рачки *Sopropoda*. Роль фитопланктона в питании незначительна. Ареал обитания распространяется от центральной части Северного моря на юг вдоль берегов Европы до Канарских островов и Зеленого Мыса, включая Средиземное, Адриатическое и Черное моря. Вдоль Атлантического побережья Северной Африки сардина - является основным промысловым видом с годовым

выловом около 660 тыс. тонн (FAO, 2008). По оценке запасов мелких пелагических видов рыб побережья Северо-Западной Африки (FAO) у сардины существует 3 единицы запаса (популяция или часть популяции рыб, которая рассматривается как устойчивая промысловая концентрация): северный (36—32° с. ш.), центральный — зоны «А + В» (32—26° с. ш.) и южный — зона «С» (26—16° с. ш.) (FAO, 2008). Активно эксплуатируется запас «А + В» с годовым выловом около 370 тыс. тонн (FAO, 2008). Распределение, миграции, а так же численность и величина запасов зависят от долгопериодных и внутригодовых колебаний интенсивности круглогодичного пассатного апвеллинга, в зоне которого они обитают. Так как внутривидовые группы сардины совершают широтные миграции, это деление запасов не всегда прослеживается.[5,6]

Восточная скумбрия

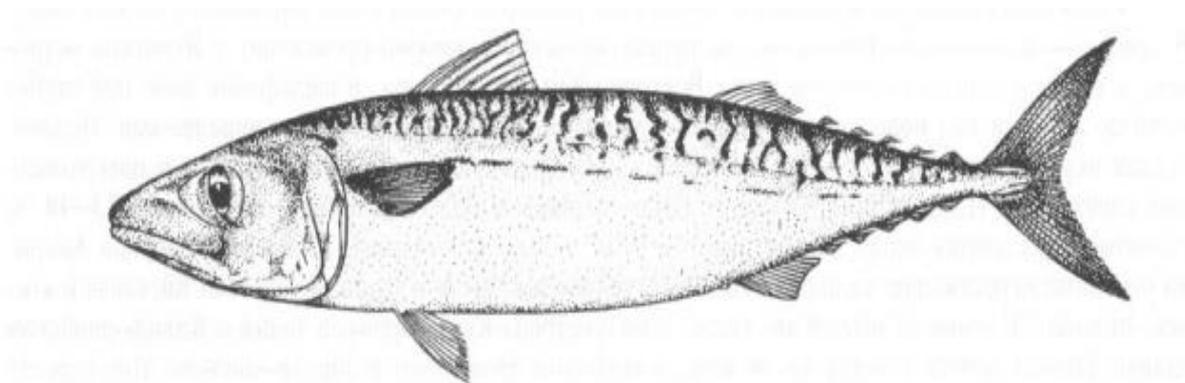


Рисунок 2.3 Восточная скумбрия – *Scomber japonicas* [6]

Восточная скумбрия (Японская). Тело веретеновидное, вытянутое, покрытое мелкой чешуей. В передней части тела чешуи увеличены. Окончание хвостового стебля с каждой стороны имеет по два небольших киля, центральный киль отсутствует. Боковая линия в основном прямая или слегка волнистая. Хорошо развит плавательный пузырь. Зубы стоят в один или два сросшихся ряда. Анальный плавник начинается позади второго

спинного плавника. Спина имеет темно-синий или сине-зеленый цвет с темными волнообразными полосами. Бока белые, имеют желтоватый оттенок, брюхо серебристо-белое или с синевато-серыми пятнами и прерывистыми волнистыми линиями [5,6].

Ареал обитания – от 10 до 35 с.ш. Имеет широкое распространение в тропических, субтропических, а так же в умеренных водах Тихого, Индийского и Атлантического океанов.[5,6]

Стайная пелагическая рыба, обитает в прибрежных водах, хотя часто скапливается в открытой эпипелагиали и районах апвеллингов. Обитает до глубин 250-300 метров. Стайное поведение развито и проявляется у особей с длиной около 3 сантиметров. Нерест в Центрально-Восточной Атлантике проходит с декабря по июнь за пределами континентального шельфа в зоне материкового склона, при температуре 16,5-18,5 °С. В районах свала глубин, в особенности у каньонов, на глубинах 100 – 200 м существуют развитые динамичные зоны, отмечаемые по температуре поверхности воды, с благоприятными условиями для нереста.[5,6]

Европейский анчоус

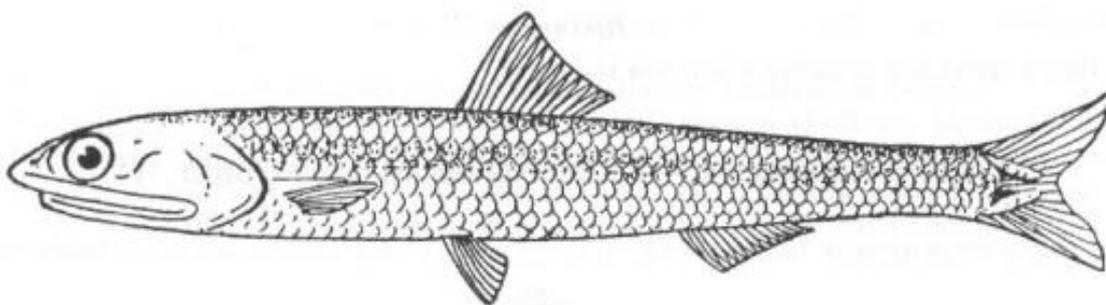


Рисунок 2.4 Европейский анчоус – *Engraulis encrasicolus*

Европейский анчоус. Имеет низкое, удлинненное, покрытое тонкой чешуей тело. Голова сжата с боков, верхняя челюсть выдается вперед. Рот большой, нижняя челюсть узкая и длинная. Присутствуют мелкие зубы.

Брюшной киль отсутствует. Спина имеет зеленый окрас, бока ярко-серебристые, брюшко серебристо-белое, жаберные крышки желтоватого цвета.[6,8]

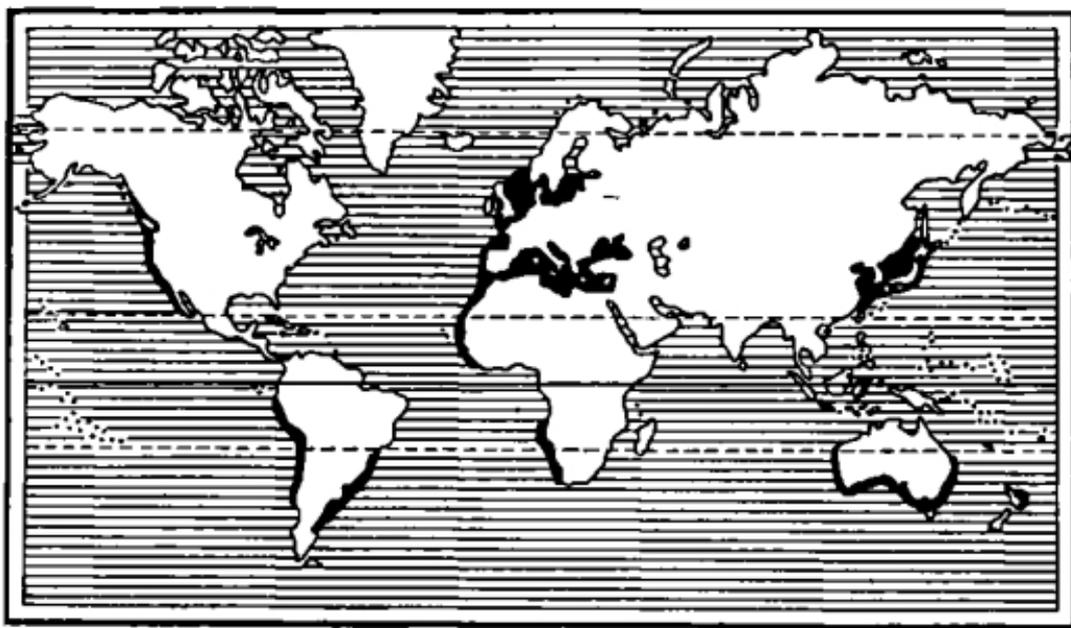


Рисунок 2.5 Арал обитания Европейского Анчоуса.

Исследуемый вид является стайным, прибрежнопелагическим. Аралом обитания служат Европейское и Африканское побережья Атлантического океана: Севернее 20° с.ш. у берегов Африки до 62° с.ш.; Средиземное море, изредка заходит в западную часть Балтийского моря, Черное море и в теплый период года Азовское море. В теплый период года обитает преимущественно в поверхностном слое воды. Встречается при температуре воды от 5-6 до 28°C . Нерест европейского анчоуса наблюдается с апреля по октябрь, в более северных районах и континентальных районах сроки нереста короче. У западного побережья Африки нерест происходит в течение всего года. Оптимальная температура нереста $18-26^{\circ}\text{C}$. Европейский анчоус – важный промысловый вид. Мировой вылов за период с 1989 по 2000 годы составлял от 413,86 до 626034 тыс. тонн.[5,6,7]

3 Глава. Материалы и методы

Район исследования и характеристики исходных данных.

Для исследования был выбран район ограниченный 36° и 10° северной широты, восточная граница проходит по 20° восточной долготы, а западная по 8° восточной долготы. Подобное описание физико-географических характеристик района приводится в 1 Главе.

Данные о вылове на акватории Канарского апвеллинга за период с 1970 года по 2019 годы взяты в программе FishStatJ предоставляемой FAO. Одной из выгодных для пользователя сторон FishStatJ является то, что он может отображать виды в соответствии с несколькими авторитетными классификациями, такими как Международная стандартная статистическая классификация водных животных и растений (ISSCAAP) или Центральная классификация продуктов ООН (CPC); и отображать научное название промысловых видов. Дискретность предоставляемых данных- 1 год.

Данные о температуре на акватории исследуемого района были взяты из архива NOAA.NCEP.NCAR CDAS-1. Данные представляют собой среднемесячные значения ТПО. Период данных с января 1970 года по декабрь 2019 года, разрешение сетки $1.875^{\circ} \times 1.904128^{\circ}$.

Прибрежный апвеллинг формируется при наличии благоприятной вдольбереговой компоненты ветра. Условием его возникновения в Северном полушарии является направление компоненты ветра с севера на юг при расположении берега слева. Одной из главных характеристик апвеллинга является его интенсивность. В данной работе было принято рассматривать интенсивность апвеллинга через термический индекс апвеллинга (TUI).

На Международной конференции по компьютерным системам и приложениям в Марокко был предложен усовершенствованный метод расчёта индекса апвеллинга прибрежных районов с использованием изображений температуры поверхности моря (sea surface temperature, SST). Для визуального контроля предлагается рассчитывать месячные

климатические термические индексы апвеллинга (thermal upwelling index, TUI). Для расчёта TUI необходимо из ТПО предполагаемой апвеллинговой зоны вычесть средние значения температуры, полученные в удалённой от апвеллинга (оффшорной) зоне. Недостатком этого метода является субъективный выбор удалённой зоны. В достаточно большом количестве работ авторы выбирают начало этой зоны от 400 до 1500 км от берега. Данные исследований показали, что чем дальше оффшорная зона отстоит от берега, тем больше получается TUI [9].

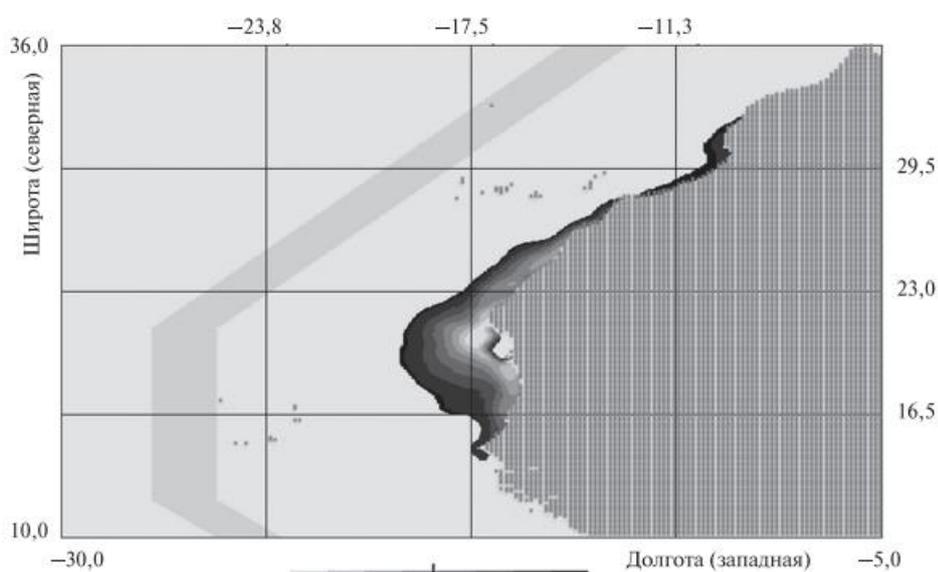


Рисунок 2.1 Канарский апвеллинг. Среднее многолетнее значение TUI в мае за период 1985–2017 гг. Серой ломаной полосой показана оффшорная область для расчёта TUI [9].

Для расчетов TUI были выбраны 2 точки с координатами: 20 ° западной долготы и 20 ° северной широты для точки с апвеллингом и 25 ° западной долготы, 20 ° северной широты для оффшорной зоны. Позже для удобства расчетов индекс был приведен к безразмерному (up_{ind})(3.1).

Безразмерный индекс апвеллинга выражается как;

$$up_{ind} = \frac{SST_{up} - SST_{off}}{0.5(SST_{up} + SST_{off})} \quad (3.1)$$

Методы анализа

Для общей характеристики структуры временных рядов использовались описательные статистики, рассчитанные с помощью пакета «Анализ данных» Excel Microsoft Office. А так же с в программе STATISTICA.

На начальном этапе исследования внутренней структуры временных рядов требуется оценить его стационарность или нестационарность, для чего используется тренд-анализ. Тренд определяет наличие во временной изменчивости исследуемой характеристики колебания с периодом, превышающим длину выборки [10,11].

Линейный тренд выражается формулой ;

$$y = a_1 t + a_0 + \varepsilon \quad (3.2)$$

Нелинейный (квадратичный) тренд выражается формулой:

$$y = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 + \varepsilon \quad (3.3)$$

Так же производилась проверка на значимость тренда. Для этого оценивается значимость коэффициента корреляции R (для линейного тренда) или корреляционного отношения η (для нелинейного тренда).

При описании процессов часто приходится иметь дело с двумя или несколькими функциями времени. В этом случае возникает задача определения статистической связи между различными случайными функциями. Мерой линейной взаимосвязи двух временных рядов является нормированная взаимокорреляционная функция (ВКФ). ВКФ выражается как:

$$R(\tau) = \frac{\sum_{i=0}^{N-\tau} (x_i - \bar{x})(y_{i+\tau} - \bar{y})}{(N - \tau)\sigma_x\sigma_y} \quad (3.4)$$

По абсолютной величине ВКФ судят о степени взаимосвязи процессов, а по ее знаку – об их прямой или обратной зависимости.

В гидрометеорологии понятие спектра широко используется для выделения скрытых периодичностей временного ряда, для исследования закономерностей его частотной структуры, при моделировании и прогнозе стационарных процессов. Спектральное представление случайного стационарного процесса является обобщением гармонического анализа периодических функций на случайные процессы. Если применять преобразование Фурье не к реализации случайного процесса, а к его автокорреляционной функции, которая является строго затухающей, то получается математически корректное выражение для пары преобразований Фурье:

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \quad (3.4)$$

$$R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega \quad (3.5)$$

где $S_x(\omega)$ – спектральная плотность (энергетический спектр, плотность спектра мощности и т.п.); $e^{-i\omega\tau}$ – показательная функция мнимого аргумента. Формула (3.4) – прямое преобразование Фурье, формула (3.5) – обратное преобразование Фурье. Физический смысл $S(\omega)$ состоит в том, что она означает плотность дисперсии стационарной случайной функции на данной частоте[10].

Глава 4 Анализ взаимосвязи уловов и интенсивности апвеллинга

4.1 Анализ временной структуры рядов уловов

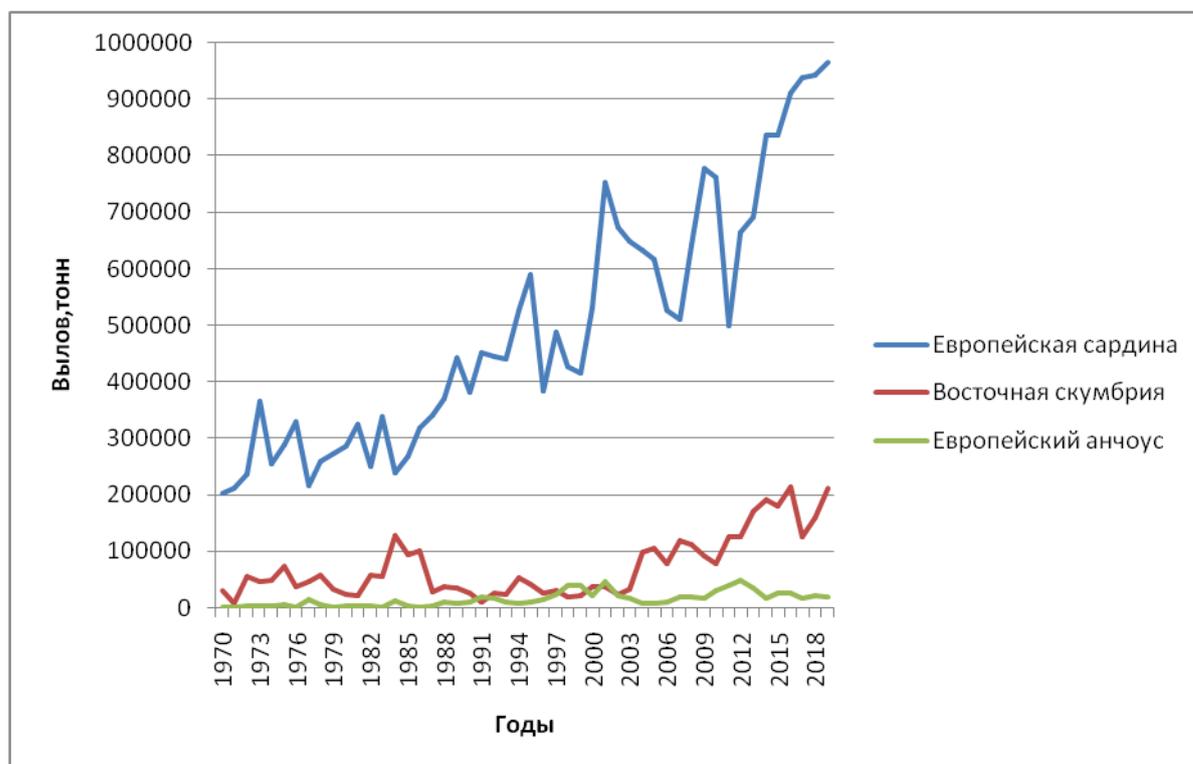


Рисунок 4.1 График уловов исследуемых видов за 1970 – 2019 годы на акватории Канарского апвеллинга

Таблица 4.1 Описательная статистика вылова промысловых видов рыб на акватории Канарского апвеллинга за период с 1970 по 2019 годы.

Характеристики	Промысловые виды		
	Европейская сардина	Восточная скумбрия	Европейский анчоус
Среднее значение, т	494235,1	72398,16	15055,57
Среднее квадратичное	220626,4	55306,23	12628,82

отклонение, т			
Коэффициент вариации, %	44,6	76,4	83,9
Максимум, т	964140	213667	49228
Минимум, т	201912	8923	1274
Длина временного ряда	50	50	50

Анализ описательных статистик для уловов на акватории Канарского апвеллинга (Таблица 1, Рис.3.1) демонстрирует:

Максимальный вылов Европейской сардины приходится на 2019 со значением 964140 тонн, для Восточной скумбрии на 2016 год – 213667 тонн, Европейского анчоуса на 2012 год с объемом 49228 тонн. Коэффициенты вариации для всех трех видов больше 33%, что свидетельствует о значительной изменчивости значений.

Для применения большинства методов анализа временного ряда важным требованием к ряду является его стационарность, т.е. неизменность его основных статистических характеристик во времени. Это касается его среднего значения и дисперсии. Поэтому первым этапом анализа временного ряда оценивается его стационарность, и если она не выявляется, ряд преобразовывают к стационарному виду.

Далее представлен анализ трендов исследуемых рядов и их спектральная плотность, в частности, вылова Европейской сардины, Восточной скумбрии, Европейского анчоуса.

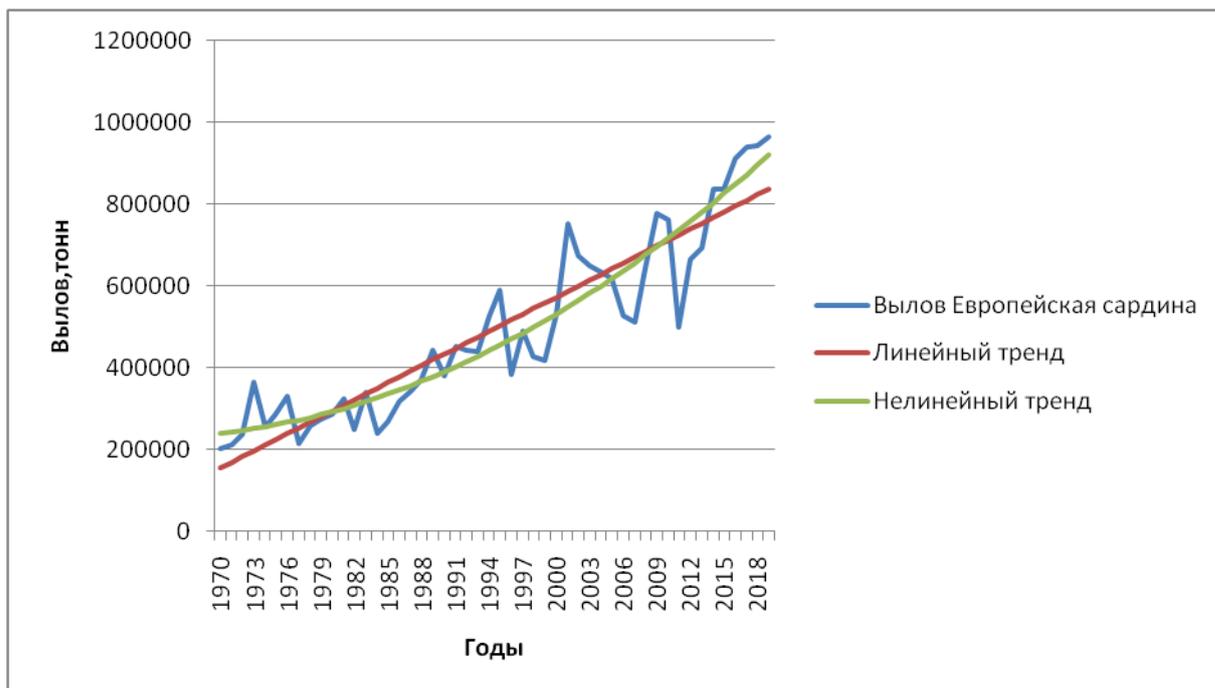


Рис.4.2 Изменчивость вылова Европейской сардины во времени на акватории Канарского апвеллинга и трендовые составляющие.

Для вылова Европейской сардины, при уровне значимости $\alpha=0,05$ линейная трендовая составляющая значима при $t^*=16,11 > t_{кр}=2,01$. Коэффициент детерминации $r^2=0,84$. Следовательно, трендовая составляющая описывает около 80% изменчивости исследуемого ряда. Величина тренда – изменения характеристики по линейному тренду равна 139037 тонн/10 лет.

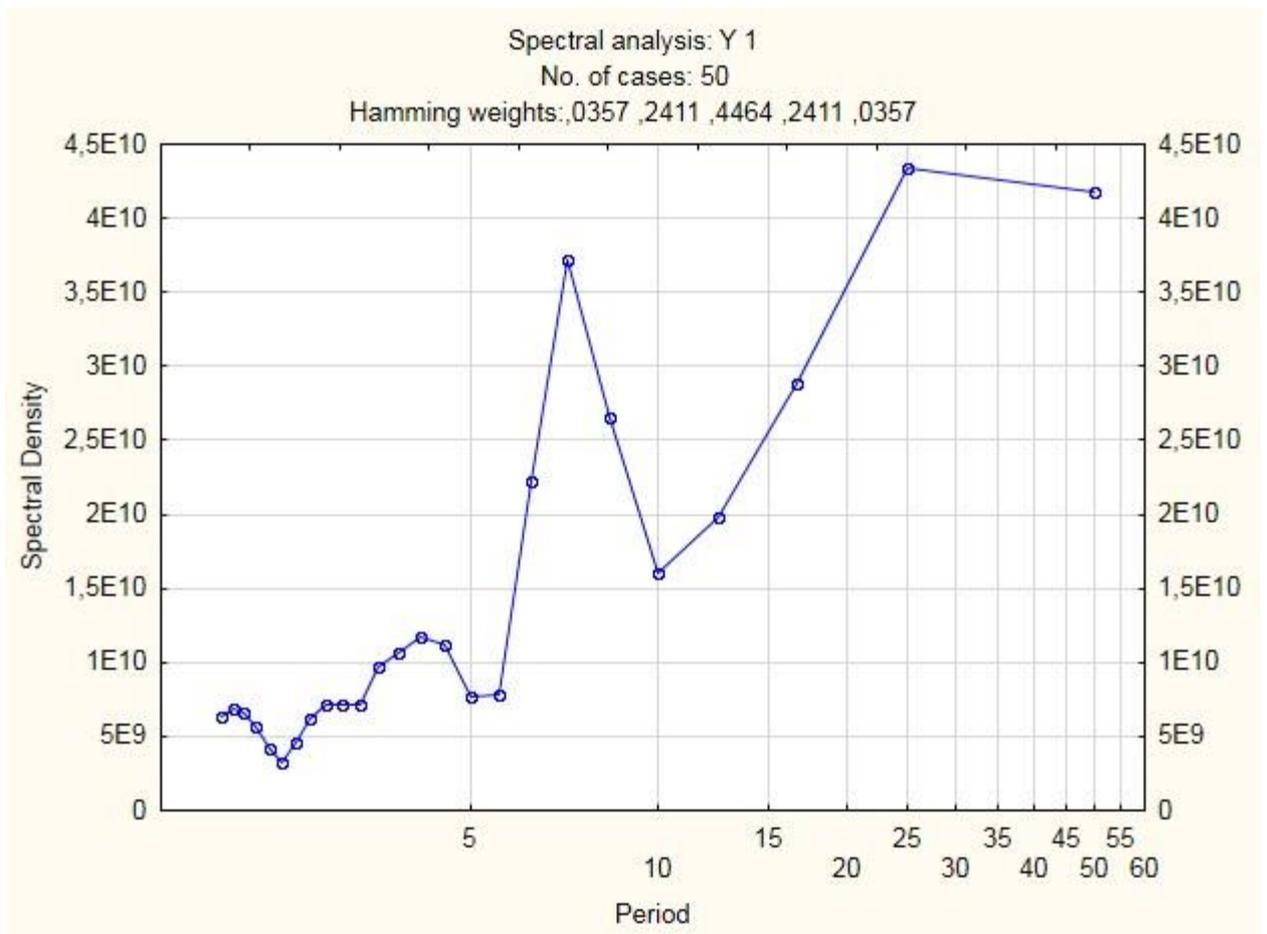


Рисунок 4.3 График спектральной плотности уловов Европейской сардины.

На рисунке 4.2 представлен график спектральной плотности среднегодовых значений уловов Европейской сардины на акватории Канарского апвеллинга за 50 лет (1970-2019 гг.). Можно наблюдать, что периодограмма содержит флуктуации, имеющие различную мощность на отдельных частотных интервалах. Наиболее мощные находятся в низкочастотной части и имеют периоды 8 и 25 лет.

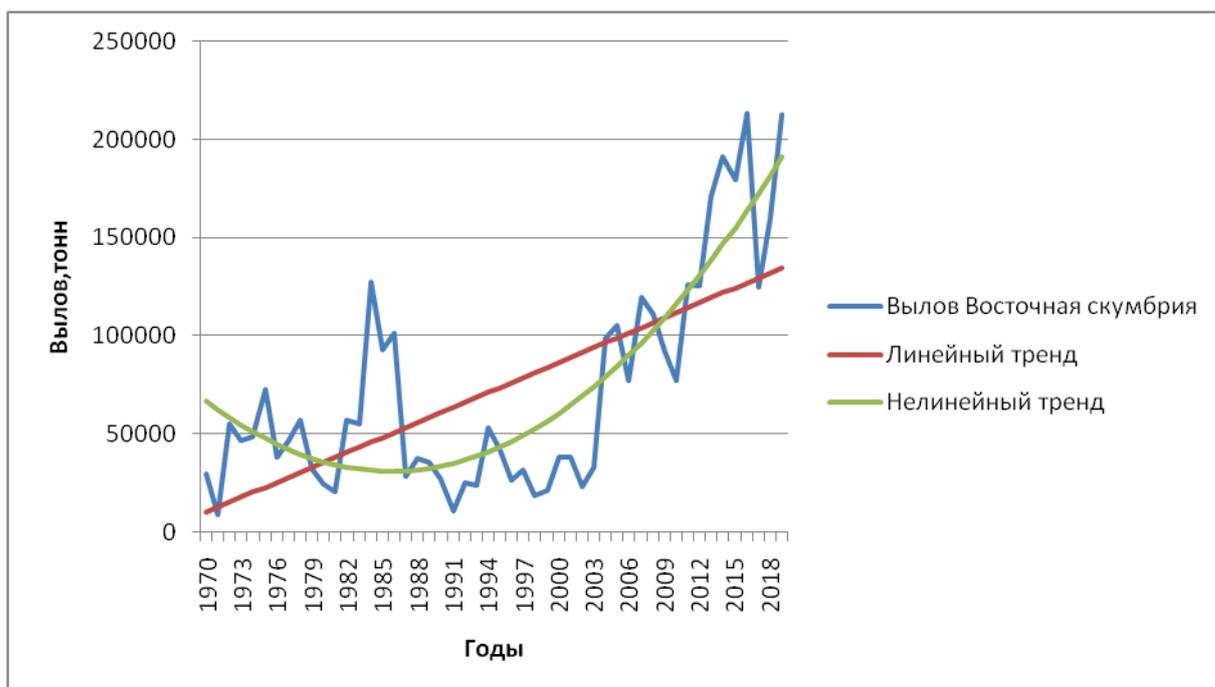


Рисунок 4.4 Изменчивость вылова Восточной скумбрии во времени на акватории Канарского апвеллинга и трендовые составляющие.

Для вылова Восточной скумбрии, при уровне значимости $\alpha=0,05$ нелинейная трендовая составляющая значима при $t^*=6,02 > t_{кр}=2,01$. Коэффициент детерминации $r^2=0,68$. Следовательно, нелинейная трендовая составляющая описывает около 70% изменчивости исследуемого ряда. Величина тренда – изменения характеристики по линейному тренду равна 25321 тонн/10 лет.

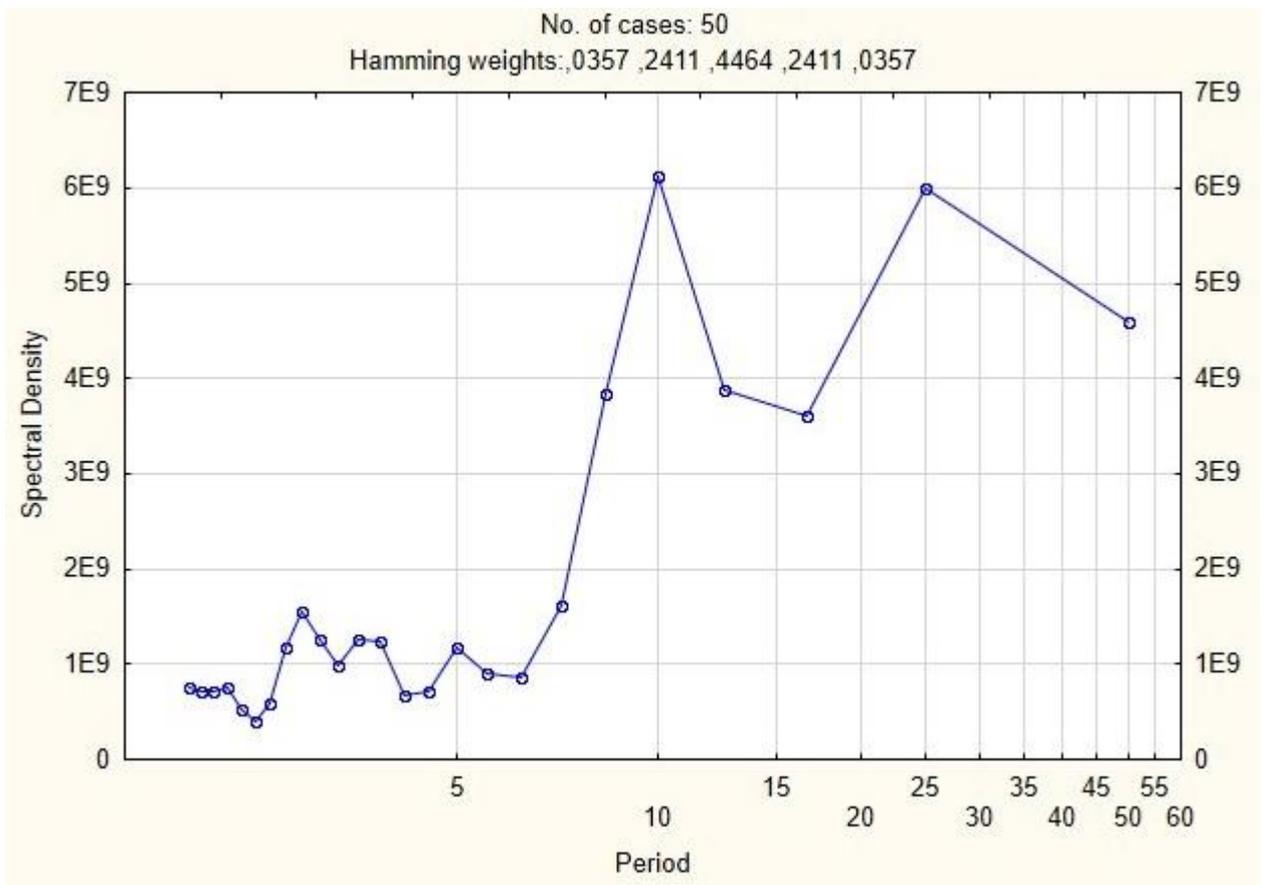


Рисунок 4.5 График спектральной плотности уловов Восточной скумбрии.

На рисунке 4.4 представлен график спектральной плотности среднегодовых значений уловов Восточной скумбрии на акватории Канарского апвеллинга за 50 лет (1970-2019 гг.). Можно наблюдать, что периодограмма содержит флуктуации, имеющие различную мощность на отдельных частотных интервалах. Наиболее мощная находится в низкочастотной части и имеет периоды 10 и 25 лет.

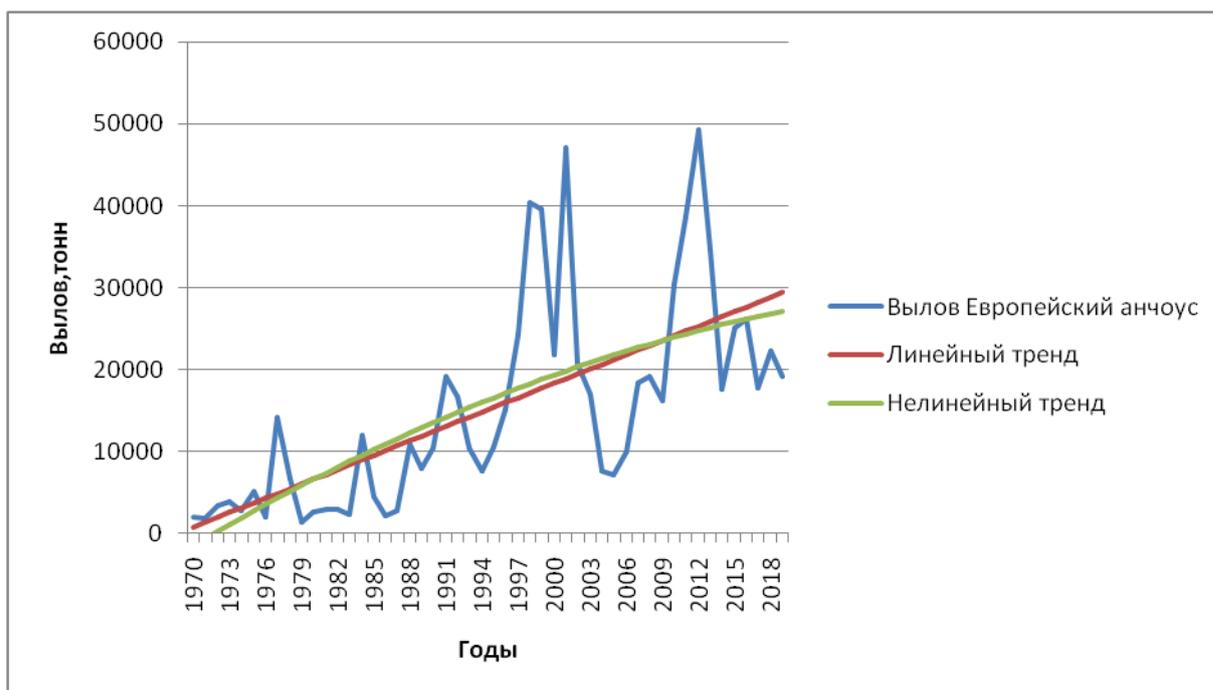


Рисунок.4.6 Изменчивость вылова Европейского анчоуса во времени на акватории Канарского апвеллинга и трендовые составляющие.

Для вылова Европейского анчоуса, при уровне значимости $\alpha=0,05$ линейная трендовая составляющая значима при $t^*=6,32 > t_{кр}=2,01$. Коэффициент детерминации $r^2=0,45$. Следовательно, трендовая составляющая описывает около 40% изменчивости исследуемого ряда. Величина тренда – изменения характеристики по линейному тренду равна 5841 тонн/10 лет.

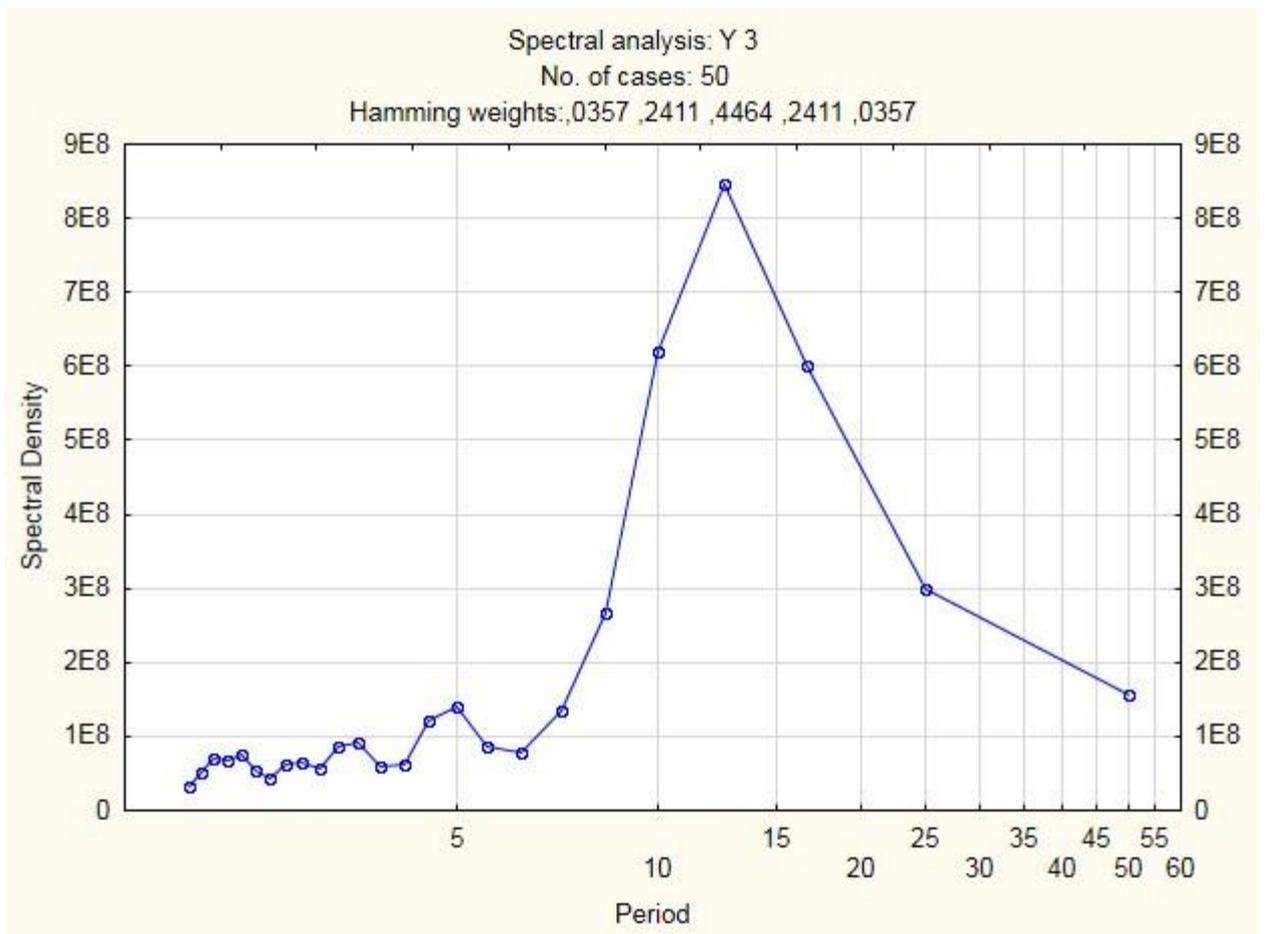


Рисунок 4.7 График спектральной плотности уловов Европейского анчоуса.

На рисунке 4.6 представлен график спектральной плотности среднегодовых значений уловов Европейского анчоуса на акватории Канарского апвеллинга за 50 лет (1970-2019 гг.). Можно наблюдать, что периодограмма содержит флуктуации, имеющие различную мощность на отдельных частотных интервалах. Наиболее мощная находится в низкочастотной части и имеет период 13 лет.

4.2 Анализ временной структуры интенсивности апвеллинга.

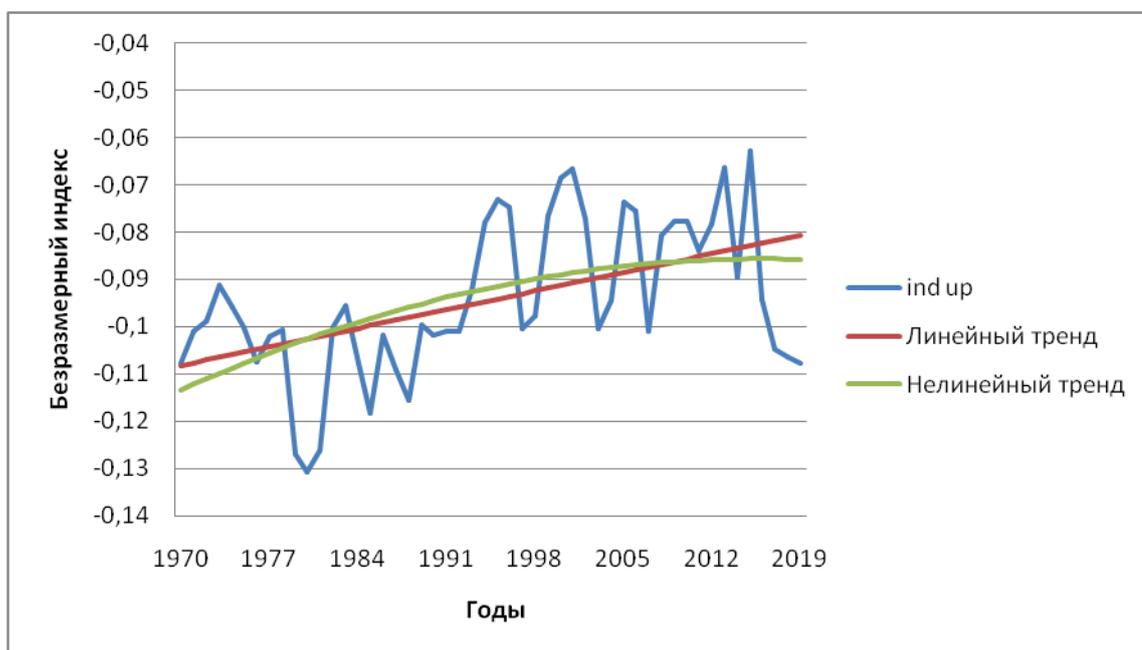


Рисунок 4.8 Изменчивость интенсивности Канарского апвеллинга во времени на и трендовые составляющие.

График изменчивости согласован с написанным ранее ходом интенсивности апвеллинга (Глава 1.4), что обосновывает выбор термического индекса апвеллинга, как показатель интенсивности поднятия вод.

Для безразмерного индекса, при уровне значимости $\alpha=0,05$ линейная трендовая составляющая значима при $t^*=4,03 > t_{кр}=2,01$. Коэффициент детерминации $r^2=0.25$. Следовательно, трендовая составляющая описывает около 25% изменчивости исследуемого ряда. Величина тренда – изменения характеристики по линейному тренду равна 0,005/10 лет.

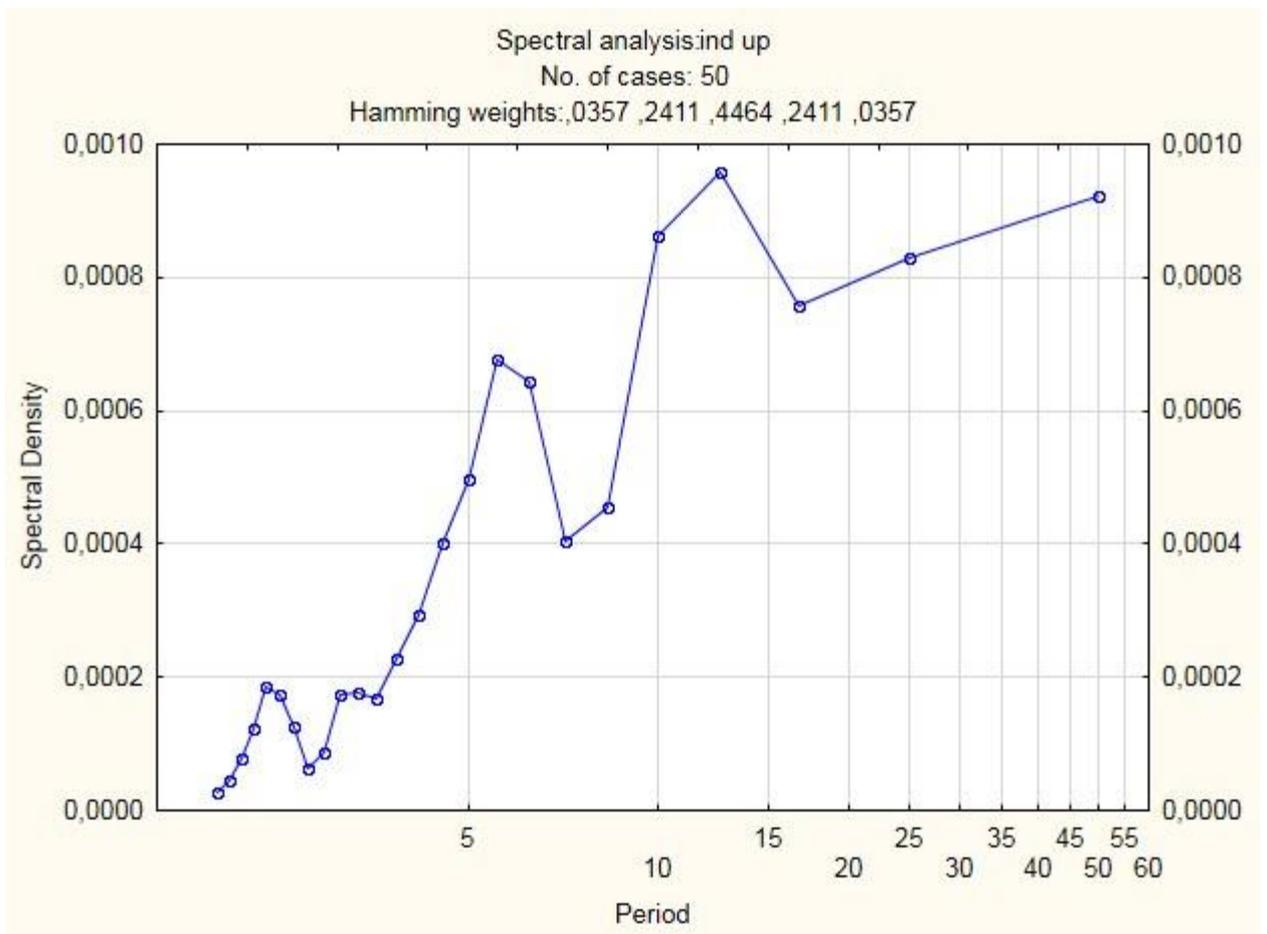


Рисунок 4.9 График спектральной плотности Индекса апвеллинга.

На рисунке 4.8 представлен график спектральной плотности среднегодовых значений интенсивности апвеллинга (ind up) на акватории Канарского апвеллинга за 50 лет (1970-2019 гг.). Можно наблюдать, что периодограмма содержит флуктуации, имеющие различную мощность на отдельных частотных интервалах. Наиболее мощные находятся в низкочастотной части и имеют периоды 6 и 13 лет.

4.3 Анализ связи уловов промысловых видов рыб и интенсивности апвеллинга.

Физические процессы могут протекать синхронно, испытывая колебания параметра одновременно, но чаще асинхронно, когда изменение одного параметра отразится на другом параметре через определенное время, которое определяется запаздыванием.

Для определения наличия или отсутствия связи интенсивностью апвеллинга и динамикой выловов промысловых видов были построены графики кросскорреляционной функции (ВКФ) для рядов с удаленными трендами. Для кросскорреляции среднегодовых значений Безразмерного индекса апвеллинга и выловов промысловых видов в районе Канарского апвеллинга взято 10 сдвигов во времени, чего достаточно для построения взаимнокорреляционной функции.

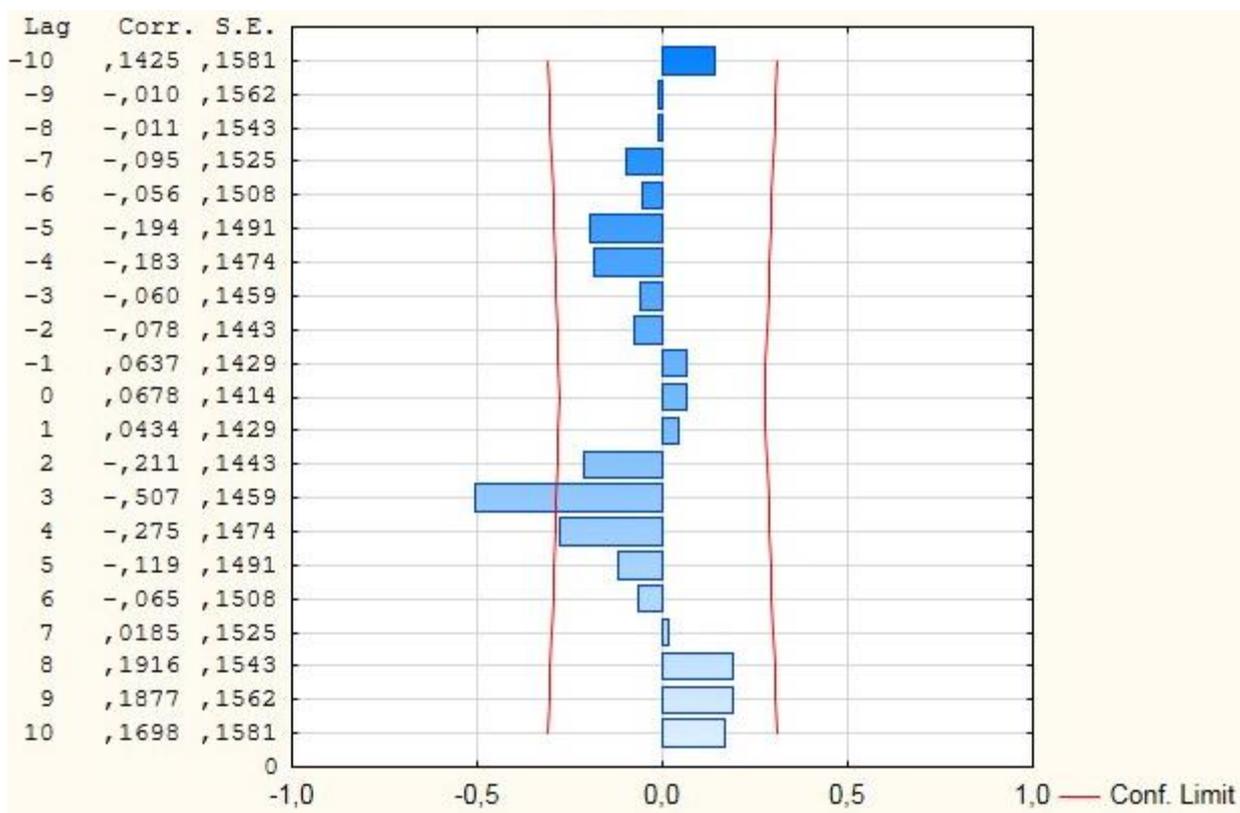


Рисунок 4.10 Взаимнокорреляционная функция вылова Европейской сардины и интенсивности апвеллинга.

Оценка связи между интенсивностью апвеллинга и выловом Европейской сардины, показала, что существует один значимый коэффициент корреляции на сдвиге отличном от нуля. Эти характеристики связаны асинхронно. Направление запаздывания положительное (сдвиг $\tau=3$).

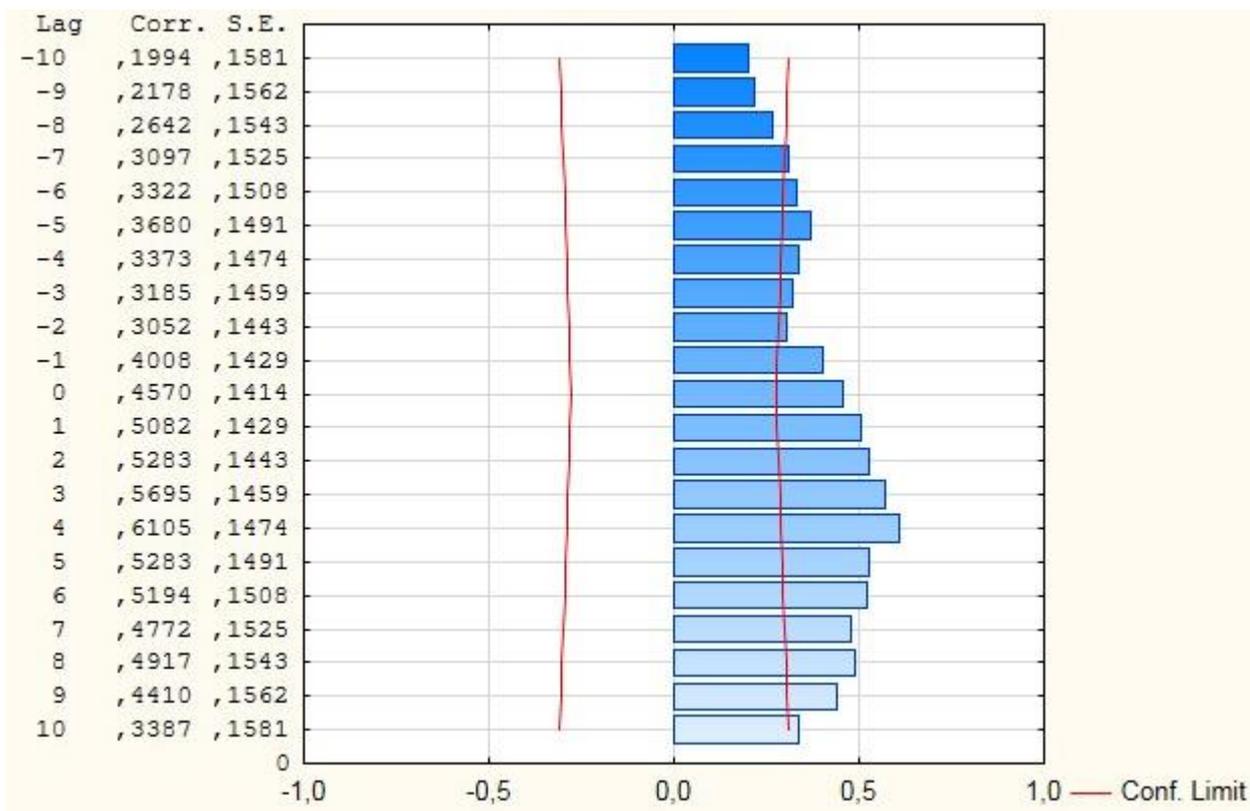


Рисунок 4.11 Взаимнокорреляционная функция вылова Восточной скумбрии и интенсивности апвеллинга.

Оценка связи между интенсивностью апвеллинга и выловом Восточной скумбрии, показала, что существуют несколько значимых коэффициентов корреляции на сдвиге отличном от нуля. Эти характеристики связаны асинхронно. Направлению запаздывания соответствуют различные направления сдвигов.

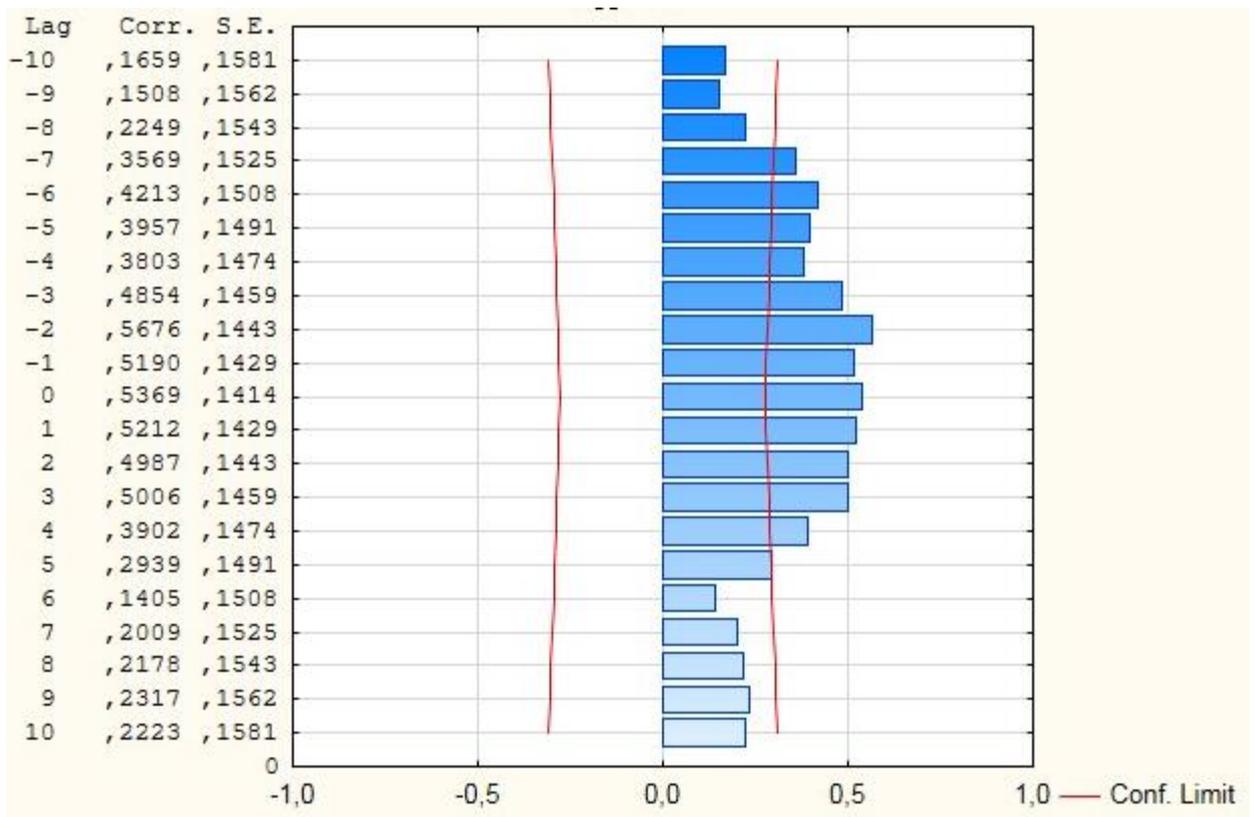


Рисунок 4.12 Взаимнокорреляционная функция вылова Европейского анчоуса и интенсивности апвеллинга.

Оценка асинхронной связи между интенсивностью апвеллинга и выловом Европейского анчоуса, показала, что существуют несколько значимых коэффициентов корреляции на сдвиге отличном от нуля. Эти характеристики связаны асинхронно. Направлению запаздывания соответствуют разные направления сдвигов.

Заключение

По результатам исследования можно сформулировать следующие основные результаты и выводы:

- обоснован выбор районов исследования;
- рассчитанные величины описательных статистик, результаты тренданализа и его значимость;
- построены графики спектральных плотностей каждого из рядов, существует общая зависимость между низкочастотными колебаниями интенсивности апвеллинга и уловами Европейской сардины и Восточной скумбрии, отсутствие такой связи с уловами Европейского анчоуса связано возможно с недостаточной длиной выборки.
- обоснован метод выделения индекса апвеллинга
- Автокорреляционный анализ не выявил значимых коэффициентов корреляции.
- Взаимокорреляционный анализ интенсивности апвеллинга с уловами промысловых видов выявил асинхронную связь временных рядов. Модели прогнозов не приведены, так как имеют плохое качество.

Список литературы

[1] Jochen Kämpf • Piers Chapman Upwelling Systems of the World A Scientific Journey to the Most Productive Marine Ecosystems

[2] Continental Shelf Research/Research papers /An improved coastal upwelling index from sea surface temperature using satellite-based approach – The case of the Canary Current upwelling system

[3] Лидванов В.В, Мезозоопланктон в районе Канарского апвеллинга. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук – Санкт-Петербург, ФГБУН ЗИ РАН, 2014, 213 с

[4] Фауна паразитов европейской сардины (*Sardina pilchardus walbaum*, 1792) Атлантического побережья Северной Африки: широтный анализ компонентных сообществ и его использование при изучении внутривидовой структуры хозяина © О. А. Шухгалтер

[5] Малинин В.Н., Чернышков П.П., Гордеева С.М. Канарский апвеллинг: крупномасштабная изменчивость и прогноз температуры воды.– СПб, Гидрометеиздат, 2002. – 156 с

[6] Промысловые рыбы России. В двух томах / Под ред. О. Ф. Гриценко, А. Н. Котляра и Б. Н. Котенёва. — М.: изд-во ВНИРО, 2006. — Т. 1. — С. 154—156. — 624 с

[7] А.В. Гущин, Л.И. Перова Промысловая фауна океанических вод Северо-Западной Африки Справочник Калининград 2011 • АтлантНИРО

[8] Valdés, L.1 and Déniz-González, I.1 (eds). 2015. Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. IOC-UNESCO, Paris. IOC Technical Series, No. 115: 383 pp.

[9] Улучшенная методика определения индексов прибрежных апвеллингов по спутниковым данным /А. Н. Серебренников/ Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. №5. С. 44–51

[10] Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учебник, – издание 2, испр. и доп. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 424 с.

[11] Гордеева, С.М. Практикум по курсу Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации [Текст] / СПб.: изд. РГГМУ, 2013. – 70 с.