



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 Межгодовая изменчивость океанографических условий в зоне промысла у побережья Марокко

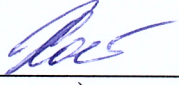
Исполнитель Мищенко Анастасия Сергеевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

Консультант кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Краснобородько Олег Юрьевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
/ Заведующий кафедрой 
(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«19» мая 2023г.

Санкт-Петербург

2023

Оглавление

Сокращения	3
Введение.....	4
Глава 1. Физико-географическое описание района исследования	6
1.1 Район Канарского апвеллинга.....	7
1.2 Влияние гидрологического режима и атмосферной циркуляции на исследуемый район	8
1.3 Сезонная и межгодовая динамика апвеллинга	12
1.4 Канарский апвеллинг как промысловый район	17
Глава 2. Материалы и методы	21
2.1 Район исследования и исходные данные.....	21
2.2 Обработка промысловых рядов	21
2.3 Методы исследования.....	30
2.4 Метод кластерного анализа.....	32
Глава 3. Межгодовая изменчивость гидрологических и гидрохимических характеристик в зоне промысла у побережья Марокко	40
3.1. Результаты тренд-анализа рядов гидрологических и гидрохимических характеристик.....	40
3.2. Результаты кластерного анализа временной изменчивости гидрологических характеристик.....	45
3.3. Пространственное распределение гидрохимических характеристик для кластеров, выделенных по температуре воды	58
Заключение	64
Список использованной литературы	66

Сокращения

ЮАЦВ – южная Атлантическая центральная водная масса

КАВ – Канарский апвеллинг

TUI – термический индекс апвеллинга

W_{EUI} – вертикальная скорость экмановского транспорта

W_{EP} – экмановская накачка

ЦВА – Центрально–Восточная Атлантика

ИЭЗ – исключительная экономическая зона

ТПО – температура поверхности океана

Введение

Изучение океана и его условий имеет большое значение для понимания функционирования экосистем, а также для экономики многих стран, которые зависят от рыболовства. В этом контексте, одним из наиболее интересных вопросов является межгодовая изменчивость океанографических условий в зоне промысла у побережья Марокко. Данный регион известен своим богатством морских ресурсов и значительными изменениями в морских условиях, которые могут оказывать негативное воздействие на рыболовство и связанные с этим отрасли экономики. В современных исследованиях активно изучается межгодовая изменчивость океанографических условий, и особое внимание уделяется районам, в которых ведется промысел. В данной работе будет рассмотрена актуальность исследований в данной зоне Мирового океана, методики, принятые для этих работ, а также результаты их проведения.

Цель данной работы – исследовать межгодовую изменчивость океанографических условий в зоне промысла у побережья Марокко на основе анализа доступных данных и определить основные факторы, влияющие на эти изменения. Это позволит лучше понять природу и механизмы изменений морских условий в данном регионе и определить возможные последствия для рыбной промышленности и экономики в целом.

Для достижения цели работы в рамках данного исследования необходимо решить следующие задачи:

1. собрать и проанализировать имеющуюся литературу и данные о межгодовых изменениях океанографических условий в рассматриваемой зоне промысла;
2. выбрать наиболее важные параметры океанической среды, влияющие на промысловую деятельность в данном регионе, и определить методы их измерения и анализа;

3. провести статистический анализ данных, определить тренды и особенности межгодовой изменчивости каждого из параметров;

4. сопоставить изменения океанических условий и уловы рыбы в данной зоне промысла.

Апвеллинг (upwelling) – это явление, при котором глубинные воды океана поднимаются к поверхности и замещают более теплые и питательные воды, что приводит к образованию более холодных и прибрежных атмосферных условий. Апвеллинг является одним из основных механизмов формирования богатых питательными элементами водных масс и обеспечивает процесс питания фитопланктона, что в свою очередь является ключевым фактором доступности обилия пищи для животных в цепи питания океана.

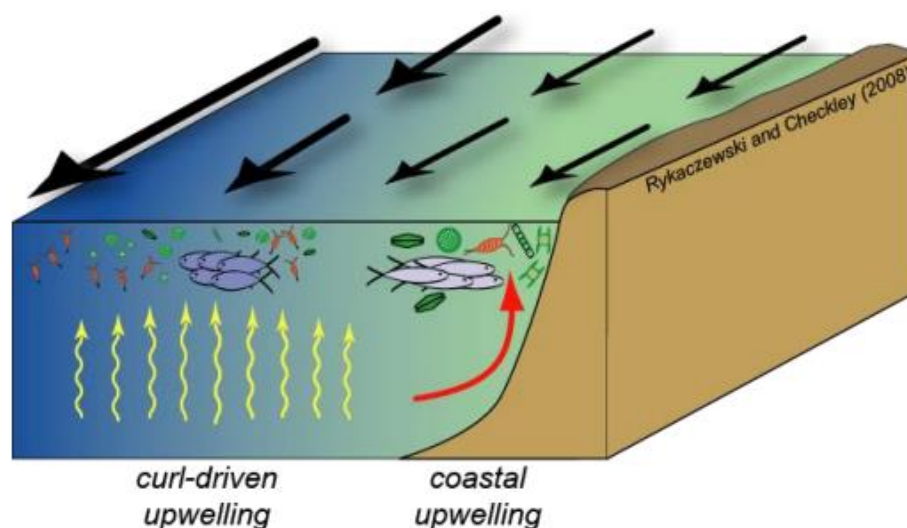


Рисунок 1.1 – Схема, описывающая генерацию прибрежного апвеллинга (coastal upwelling) и подъем глубинных вод (curl-driven) внутри экосистемы [1]

Одним из наиболее известных мест апвеллинга является берег Чили и Перу в Южной Америке. Здесь охлаждённые воды, переносимые прибрежными течениями на поверхность, приводят к формированию одной из самых питательных зон на Земле - Перуанского течения. Также апвеллинг наблюдается у некоторых островов Тихого океана, Антарктики и у побережья Африки.

1.1 Район Канарского апвеллинга

Район Канарского апвеллинга находится у побережья Западной Африки, на северо-западе Атлантического океана, вблизи Канарских островов. Он расположен вдоль сахарского побережья на границе тропических и умеренных климатических зон, что создает уникальные условия для экосистемы океана.

Канарский апвеллинг занимает площадь около 500 тысяч квадратных километров и простирается от экватора до 30-35 градусов северной широты. Его границы постоянно меняются в зависимости от климатических факторов и особенностей морских течений.

Рядом с зоной апвеллинга находится островная группа Канарских островов, к которой относятся 7 больших и несколько маленьких островов. Они расположены вблизи берегов Марокко и Западной Сахары, с которыми соединены подводной горой (Рисунок 1.2). Острова являются частью Испании и имеют статус автономного сообщества.

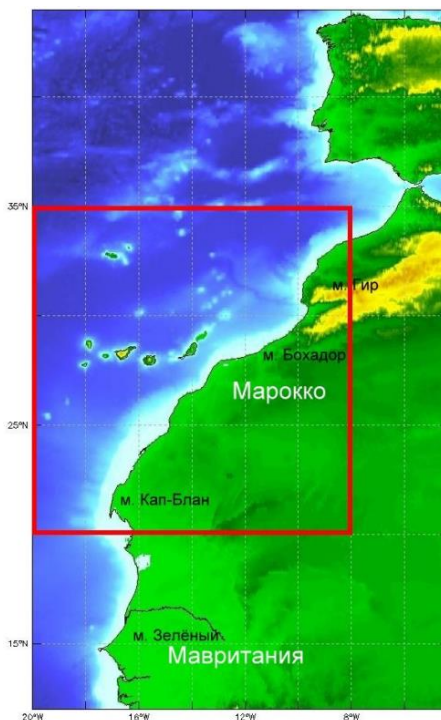


Рисунок 1.2 – Район Канарского апвеллинга [2]

Район Канарского апвеллинга наиболее известен благодаря своим рыбным запасам, которые являются источником пропитания многих местных групп населения и важным экономическим ресурсом региона. Кроме того, здесь можно наблюдать множество морских животных, а также редких видов птиц.

Процесс апвеллинга в зоне Канарских островов начинается весной и длится до осени, когда среднесуточная величина ветра достигает максимальных значений. В этот период сила ветра может достигать значений 20 м/с, вследствие чего будет происходить более активный сгон поверхностных вод океана и начнется более интенсивное перемещение холодных вод на поверхность. Особенностью Канарского апвеллинга является то, что он находится у побережья Африки, где влияние прибрежных течений приводит к тому, что на поверхности океана появляется большое количество питательных веществ [3].

За счет мощного апвеллинга Канарский архипелаг и прилегающие территории характеризуются богатыми рыбными ресурсами, которые являются основой многих направлений рыболовства и критически важны для экономики региона. Также апвеллинг оказывает влияние на климатические условия Западной Африки и значительно воздействует на местную экологию.

В целом, Канарский апвеллинг является уникальным районом нашей планеты с высоким уровнем биологической продуктивности и большим потенциалом для научных исследований и развития устойчивых методов использования океанских ресурсов.

1.2 Влияние гидрологического режима и атмосферной циркуляции на исследуемый район

Атмосферная циркуляция в области Канарского апвеллинга образуется благодаря влиянию так называемой восточно-атлантической антициклонической системы, которая охватывает западную часть Европы, а также Атлантический океан к западу от Канарских островов. Эта система

создает на обширной территории воздушный поток, который направлен к западу и северо-западу от Канарских островов.

Воздушный поток над районом Канарского апвеллинга движется от северо-запада к юго-востоку, что вызывает образование атмосферного фронта, разделяющего теплый и влажный воздух, который поступает из тропиков, и сухой и прохладный воздух из северных широт. Область, расположенная к северу от фронта, обычно характеризуется прохладной погодой с высокой облачностью и интенсивными осадками, тогда как на юге фронта погода более теплая и солнечная [3].

Атмосферный фронт влияет на образование мощных ветров, то есть пассатов, восточных и северо-восточных, которые постоянно дуют в районе Канарских островов. Направление и скорость этих ветров варьируют, что создает условия для образования циркуляционных систем воздушных масс, таких как антициклон, циклон или вихрь. Эти системы в свою очередь воздействуют на температуру и влажность воздуха, а также на распределение облачности и температуры поверхности океана.

Важным элементом циркуляции вод в Канарском апвеллинге, как и во всех системах прибрежных апвеллингов, расположенных по восточным перифериям океанов, является подповерхностное компенсационное течение [3]. Подповерхностное компенсационное течение (Subsurface Compensating Current) - это течение, которое возникает вследствие протекания воды на поверхности океана и сопутствующего образования циркуляционных систем внутри океана. Это течение оказывает значительное влияние на состояние океана, так как оно уравнивает перенос водных масс с поверхности на глубину.

В районе Канарского апвеллинга подповерхностное компенсационное течение происходит благодаря воздействию теплой воды, которая движется по нижним слоям североатлантического региона к югу. Это противобесит действию холодных и плотных вод, которые приходят к поверхности у берегов в районе Канарских островов, образуя Канарское течение. Подповерхностное компенсационное течение является очень важной составляющей циркуляции в

этом районе океана, благодаря которой глубинные воды движутся на поверхность, а поверхностные воды смещаются в глубины (Рисунок 1.3).

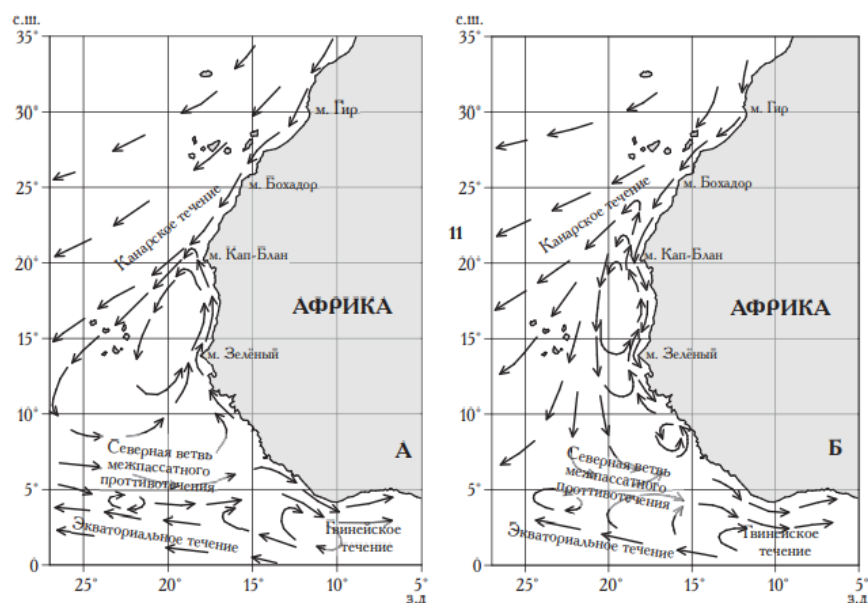


Рисунок 1.3—Циркуляция вод на поверхности океана в Центрально-Восточной Атлантике в летний (А) и зимний (Б) сезоны [3]

Оно также оказывает существенное влияние на химические процессы в океане, так как переносит множество питательных веществ и растворенных газов между разными глубинными слоями, что используют микроорганизмы для своего развития. Более того, химические процессы, которые происходят в океане благодаря подповерхностному компенсационному течению, играют важную роль в сохранении экологического баланса региона.

В районе Канарского апвеллинга образуются различные типы водных масс, которые имеют свои характеристики и играют важную роль в жизни морских организмов [4].

Южная Атлантическая центральная водная масса (ЮАЦВ), расположенная выше 21° северной широты, известна своим богатством биогенными элементами, но относительно низким содержанием кислорода. С другой стороны, Северная Атлантическая центральная водная масса,

расположенная ниже 21° северной широты, характеризуется более высоким содержанием кислорода, но меньшим количеством биогенов. [5]. В районе м. Кап-Блан между этими водными массами происходит горизонтальное взаимодействие с ярко выраженной фронтальной зоной, названной Синегало-Мавританской фронтальной зоной, в которой гидрологические параметры водных масс, такие как температура и солёность, компенсируют друг друга, а значит пикноклин играет менее значимую роль. Вследствие чего фронтальная зона становится выраженной за счет гидрохимии (Рисунок 1.4).

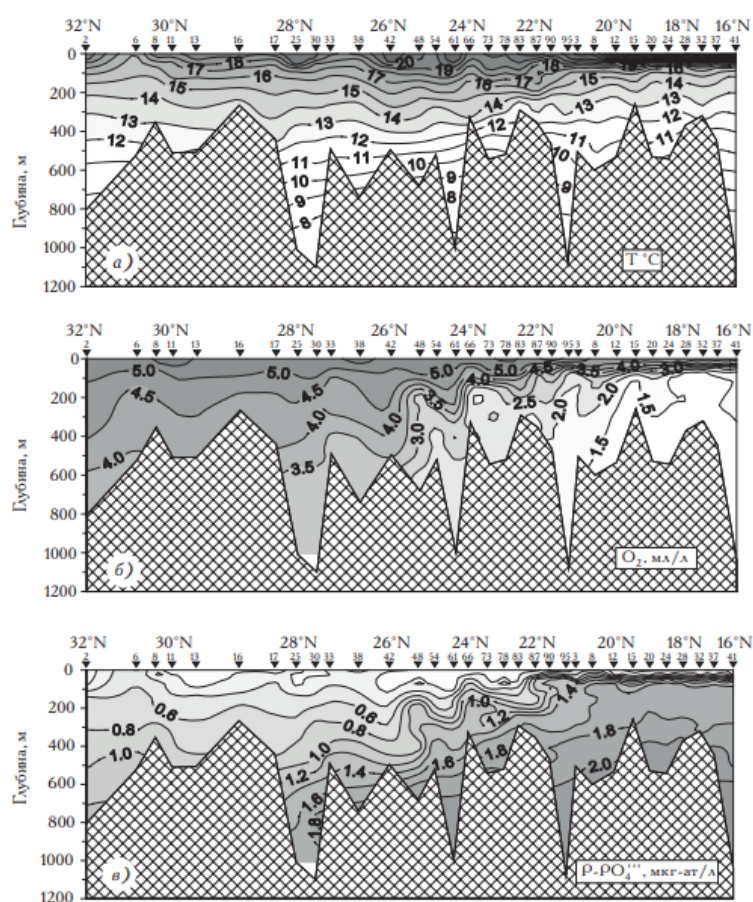


Рисунок 1.4– Вертикальное распределение температуры (а), растворенного кислорода (б), минерального фосфора (в) на меридиональном разрезе по материковому склону от $32^\circ00'$ до $16^\circ00'$ с.ш. в летний период 2007 г.

[3]

1.3 Сезонная и межгодовая динамика апвеллинга

Сезонная динамика Канарского апвеллинга определяется изменениями метеорологических условий, таких как осадки, температура воздуха, влажность и направление ветра. В зимние месяцы давление атмосферы над сушей превышает давление над океаном, что создает область высокого атмосферного давления на северной части КАВ. Это приводит к усилению пассатов на севере области, и поверхностные воды, более обогащенные минеральными солями, устремляются на юг. Данное движение поверхностных вод расщепляется на два течения: к северо-западу и к юго-западу от Канарских островов [6].

Весной происходит резкое уменьшение атмосферного давления у северной части Канарского апвеллинга, что приводит к уменьшению пассатов и увеличению ветров на юге, что способствует движению приповерхностных вод к северу.

Межгодовая динамика Канарского апвеллинга связана с изменениями климата на глобальном уровне и имеет циклический характер. Возможные причины изменений межгодовой динамики включают изменения интенсивности пассатных ветров, изменения температуры окружающей среды и другие факторы, которые взаимодействуют друг с другом.

Таким образом, прибрежному Канарскому апвеллингу способствуют пассаты, которые, как упоминалось выше, дуют вдоль побережья постоянно или в течение всего года с небольшими отклонениями. Следовательно, согласно теории Экмана, пассаты переносят поверхностные водные массы от побережья.

В приведенном районе наблюдаются аномалии температуры поверхности океана, достигающие 7°C , а изменение температуры на 10 км оценивается в $0,7^{\circ}\text{C}$. Подъем вод вызывает вертикальную составляющую скорости течения, которая достигает 20-30 м/сутки, а максимальная глубина, на которой можно наблюдать такой подъем, составляет 300 метров [2].

Циркуляция прибрежного апвеллинга, в целом, достаточно изменчива. Интенсификации и ослабления ее наступают с соответствующими изменениями

ветра, а региональные изменения могут зависеть, например, от топографии берега, ширины области шельфа или рельефа дна. Характерной чертой прибрежного апвеллинга является формирование узких, перпендикулярных берегу течений холодных вод [4].

Сезонные изменения в прибрежном апвеллинге обычно связаны с перемещением метеорологических центров действия северо-восточного пассата вдоль меридианов. Летом зона наиболее сильного подъема вод перемещается на север от 21 до 44° северной широты, что приводит к усилению апвеллинга. Осенью и зимой центры пассатов смещаются на юг, и зона наибольшей интенсивности апвеллинга смещается также на юг [5].

Наблюдение за межгодовой изменчивостью океанологических процессов является важным фактором для анализа изменения свойств экосистемы. Эти процессы включают в себя термические изменения, динамику водных масс и связанные с ними крупномасштабные атмосферные процессы, которые имеют прямое влияние на распределение биогенных элементов. Исследование изменчивости данных характеристик можно использовать для оценки биопродуктивности данного региона.

Из анализа многолетних рядов ТПО в слое от 0 до 200 м с 1965 года по настоящее время известно, что существуют некоторые синхронные колебания термических условий на различных глубинах, причем с постепенно угасающей амплитудой [4]. Межгодовая изменчивость температуры поверхности океана определяется положительным линейным трендом, который указывает на постепенное ежегодное увеличение характеристики на приблизительно 0.05 °C. В холодные годы мы можем наблюдать повышенную интенсивность прибрежного апвеллинга, в то время как в теплые годы такая тенденция, наоборот, снижается.

Обращаясь к истории, можно сказать, что, начиная с 1950 года до 1960 года, интенсивность Канарского апвеллинга росла, логично предположить, что происходило это за счет понижения ТПО в эти годы. В районе 1960 года

интенсивность, как и ТПО вернулись к значениям среднеклиматической нормы [5].

Следующим этапом был 1970 год, когда интенсивность прибрежного апвеллинга снова значительно возросла, с некоторым временным спадом в 1975 году. Этот высокий уровень продолжался вплоть до 1983 года. Однако после этого, начался период теплой климатической эпохи, который привел к снижению интенсивности апвеллинга до 1998 года. Сегодня интенсивность апвеллинга стабилизировалась, что можно наблюдать в данных на 2007 год (Рисунок 1.5).

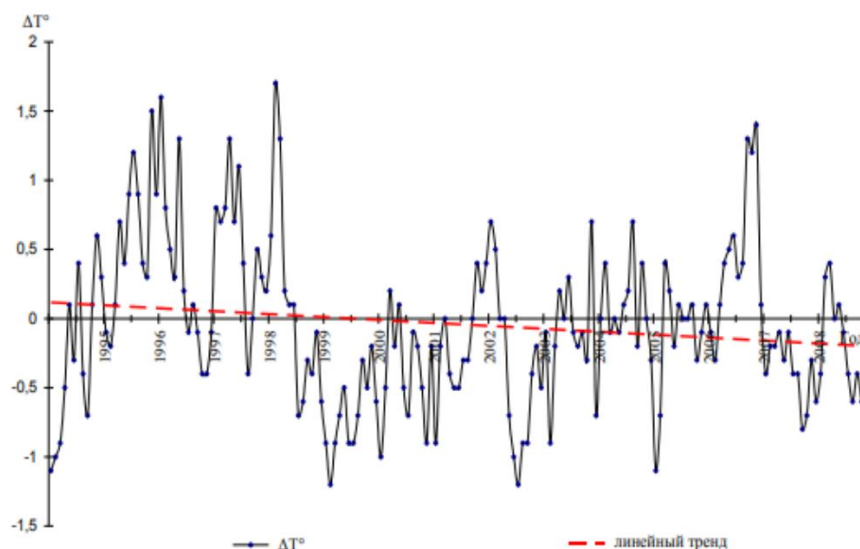


Рисунок 1.5–Изменчивость отклонений ТПО (ΔT°) у побережья Западной Сахары (21-26° с.ш.) [3]

В целом, если опираться на перечисленные тенденции к явному потеплению поверхности океана, можно сказать, что общая интенсивность Канарского апвеллинга имеет тенденцию к снижению, однако изменения, отмеченные в более коротком временном масштабе, свидетельствуют о локальной тенденции к увеличению интенсивности и показателей биологической продуктивности за последние 20 лет [3].

Важно отметить, что оценка климатического влияния на данную область, которая характеризуется высокой биопродуктивностью, имеет большое значение [6].

Апвеллинги на побережье обычно вытянуты параллельно берегу, и их временные изменения зависят от местоположения на географической широте. Присутствуют широты, на которых характер изменений временного хода более заметен, вследствие чего их делят на различные регионы. «Например, П. Чернышков в своей работе (Чернышков, 2006) разделяет Канарский апвеллинг по характеру внутригодовой изменчивости на три зоны: зону сезонного апвеллинга (между 10 и 20° с.ш.), зону интенсивного круглогодичного апвеллинга (между 20 и 26° с.ш.) и зону умеренного круглогодичного апвеллинга с выраженной сезонностью (между 26 и 32° с.ш.)»(цитируется по [7]).

В своей работе А. Н. Серебренников для разделения апвеллинга по характеру сезонных изменений вычислял среднемесячные значения TUI, вертикальные скорости экмановского транспорта (W_{EUI}) и экмановской накачки (W_{EP}) (Рисунок 1.6).

На рисунке 6 показан результат, полученный для Канарского апвеллинга. Видно, что характер графиков $WEUI$ и WEP сильно изменился на широте 21°. На этой же широте TUI достиг своего максимального значения. Эту широту с большой вероятностью можно принять за границу между северной и южной частями Канарского апвеллинга [7].

Исследование И.Л. Глезы посвящено межгодовой динамике процессов апвеллинга, их влиянию на биомассу и распределение пелагических видов рыб. В работе он использовал объемы глубинных вод в районе шельфа и материкового склона, которые были получены из гидрологических данных съемок, проведенных в период с 1994 по 2005 года. Такой подход позволил установить основные параметры исследуемой области и изучить влияние апвеллинга на биологические процессы (Рисунок 1.7).

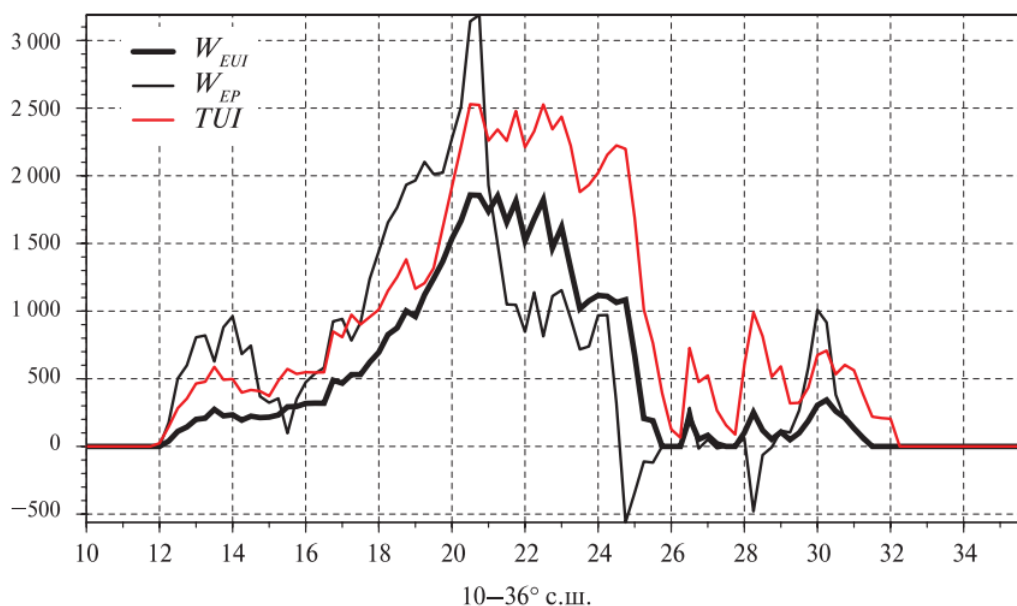


Рисунок 1.6 – Канарский апвеллинг. Широтное распределение W_{EUI} ($\times 10^{-7}$, м/с, жирная чёрная линия), W_{EP} ($\times 2 \cdot 10^{-6}$, м/с, тонкая чёрная линия) и инверсное значение TUI ($\times (-100)$, °C, красная линия), осреднённых по всему временному интервалу. Для каждой широты значения параметров просуммированы по всем долготам внутри климатических масок [7].

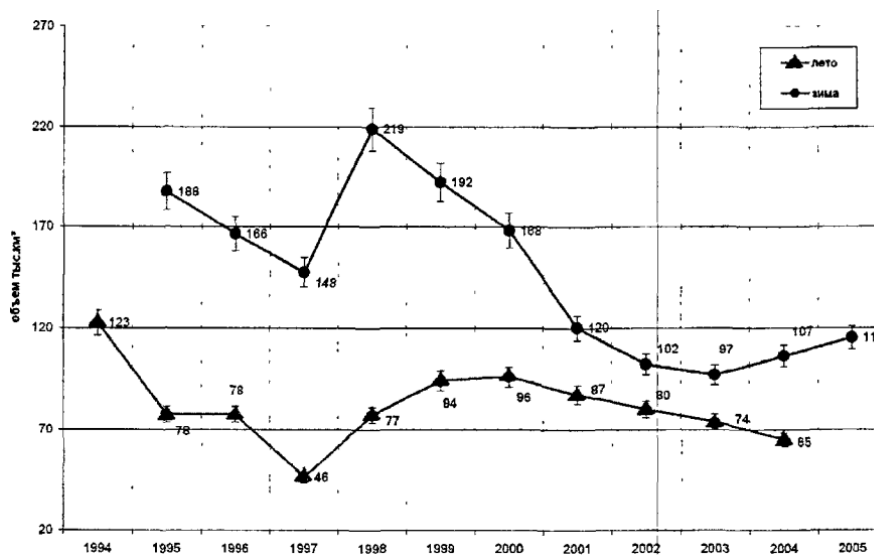


Рисунок 1.7– Годовая динамика объема апвеллинговой водной массы в районе Марокко и Мавритании по результатам гидрологических съемок «АтлантНИРО» 1994 -2005 гг. [8].

В результате удалось выделить аномальные годы с максимальными и минимальными объемами апвеллинговых вод. Среднее значение объема составляет: для летнего сезона - 81,4 тыс. км³, для зимы - 147,6 тыс. км³ [8].

Район с 11° с.ш. по 20° с.ш., в течение всех рассматриваемых лет характеризуется преобладанием отрицательных аномалий скорости ветра, район 25° - 35° с.ш. положительными аномалиями в зимний сезон и отрицательными в летний сезон.

1.4 Канарский апвеллинг как промысловый район

Рыболовная деятельность в районе Центрально-Восточной Атлантики (ЦВА) представляет собой важный элемент мировой рыбной промышленности. Крупные популяции пелагических видов рыб в районе Канарского апвеллинга, таких как тунец, сардина и анчоус, являются частью экономических зон Марокко, Мавритании, Сенегала и Гвинеи-Бисау.

Канарский апвеллинг является одним из наиболее популярных и известных мест для промысла рыбы. Его промысловое освоение началось в 70-х годах XX века. Раньше рыба на Канарских островах в значительном количестве добывалась для местного потребления, но позднее стало понятно, что эта зона может быть использована для коммерческой добычи [9].

На фоне увеличения спроса на рыбу и увеличения производительности крупных производственных флотов началось промышленное освоение Канарского апвеллинга. Сначала рыбу добывали на побережье Сенегала и Мавритании, а затем в 1970-х годах испанские рыболовные квоты были расширены до Канарских островов. Испанский флот, включая крупные суда и траулеры, быстро заполнил воды в этой области и стал массово добывать кальмара, акулу, меч-рыбу и другие промысловые рыбы.

Затем в 1980-х годах португальские и японские суда также начали рыбную добычу на подводных холмах у побережья Мавритании и Канарских островов.

Основными представителями рыбного промысла в этом регионе являются европейская сардина, круглая сардинелла, восточная скумбрия, различные виды ставрид, включая европейские и западноафриканские, тунцы, европейский анчоус, помадазиевые и спаровые рыбы, а также рыба-сабля (волосохвост [9]. Среди беспозвоночных наиболее популярными являются кальмары, креветки, осьминоги и каракатицы. Охоту на этих морских жителей ведут много стран, среди которых: Марокко, Сенегал, Нигерия, Украина, Россия, Нидерланды, Испания, Литва, Гвинея, Мавритания, Сьерра-Леоне, Кот-Дивуар, Камерун, Франция и другие. Каждая из этих стран делает вклад в общий улов.

Потенциальная максимальная рыбопродуктивность этого района в целом оценивается в 260 кг/км² (в шельфовой зоне - 750 кг/км², в океанической - 70 кг/км²) [9]. Общие уловы в ЦВА для отдельных лет в период 1950-2006 гг. по данным ФАО ООН представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Общие уловы в ЦВА в 1950-2006 гг. (данные ФАО ООН)

Год	1950	1960	1970	1980	2000	2006
Улов в ЦВА, млн.т.	0,4	1,3	2,8	3,4	3,5	3,2

Сегодня Канарский апвеллинг является одним из самых драгоценных районов для рыбной промышленности в мире. В зоне действует строгий контроль добычи промысловой рыбы с помощью квот и сезонных закрытий рыболовных зон, чтобы уберечь этот регион от нерационального использования его рыбных ресурсов.

В районе Канарского апвеллинга находятся обширные массивы прохладных вод, что в свою очередь обеспечивает развитие крупных популяций пелагических видов рыб. Пелагические виды рыб – это виды,

которые встречаются в открытых водах моря, и не связаны с донными формациями или рифами.

В данном регионе можно обнаружить различные виды пелагических рыб, такие как тунец, сардина, анчоус, а также другие морские животные, включая кальмары, креветки и дельфинов. Область удовлетворяет основным потребностям кормовой базы этих видов, что производит положительный эффект на их рост, размножение и общую популяцию.

Развитие фитопланктона в данном районе является стимулятором для обеспечения кормовой базы пелагических рыб. Благодаря процессу фотосинтеза, происходящему у поверхности открытых морей, фитопланктон стремительно размножается. В результате чего формируются обширные зоны с плотной массой фитопланктона, на которых кормятся пелагические виды.

Кроме фитопланктона, кормовая база для пелагических видов рыб также включает в себя зоопланктон, который, в свою очередь, является компонентом морской пищевой цепи, состоящей из наиболее разнообразных видов морских животных, включая моллюсков, ракообразных, мелкую рыбу и других морских организмов, которые являются источником питания более крупных рыб.

Географические условия играют решающую роль в обитании промысловых видов рыб. Некоторые виды предпочитают жить в береговых зонах, где воды богаты питательными веществами, такие как сардина, анчоус и макрель. В то время как другие виды, включая тунца, находятся на глубине от 200 до 600 метров в открытом океане.

Изменение термических условий и некоторых других факторов могут привести к тому, что эти промысловые виды рыб совершат миграции в новые места обитания, что может повлиять на экономику региона. Несмотря на то, что каждый вид имеет свои специфические районы обитания, сроки нагула и нереста, все они находятся в водах исключительной экономической зоны (ИЭЗ) Марокко и Мавритании практически круглый год, что делает этот регион ключевым для мирового промысла рыбы.

Такие рыбы как сардина, анчоус и макрель обитают в прибрежных зонах. Сильные течения и холодные, питательные воды в области Канарского апвеллинга способствуют размножению и росту этих видов. Сардина обычно мигрирует вдоль континентального шельфа и открывает сезон ловли в ноябре на западном острове Канарских островов - Санта-Крус-де-Тенерифе. Анчоус тоже обитает в прибрежных и трансконтинентальных водах. Сезон ловли анчоуса начинается в конце августа. Макрель также обитает в районе Канарского апвеллинга и может быть пойман в ближайших к берегу водах.

Хек и линь обитают как на шельфовых, так и на океанических глубинах, задерживаясь в более открытых морских зонах. Рыба хек наиболее распространена в северной части Канарских островов в местах, где лишь частично происходит апвеллинг холодных глубинных вод. Линь обитает в широкой зоне, включая как шельфовые, так и океанические воды.

Тунец - крупный мигрирующий вид рыбы, обитающий в районе Канарского апвеллинга в течение всего года. Тунец можно поймать на большей глубине, где пропитанные питательными веществами холодные воды Канарского апвеллинга смешиваются с теплыми поверхностными водами.

Таким образом, район Канарского апвеллинга представляет большой интерес для рыболовства и сельскохозяйственной промышленности, и в то же время является обиталищем многих видов морской фауны.

Глава 2. Материалы и методы

2.1 Район исследования и исходные данные

Для исследования была выбрана область, ограниченная $33,5^{\circ}$ северной широты и $19,5^{\circ}$ северной широты, западная граница проходит по $19,5^{\circ}$ западной долготы, а восточная по $9,5^{\circ}$ западной долготы. Данная область полностью попадает в Марокканский подрайон, выделенный по своим гидрологическим, гидрохимическим и биологическим особенностям. Схема района представлена на рисунке 2.1.

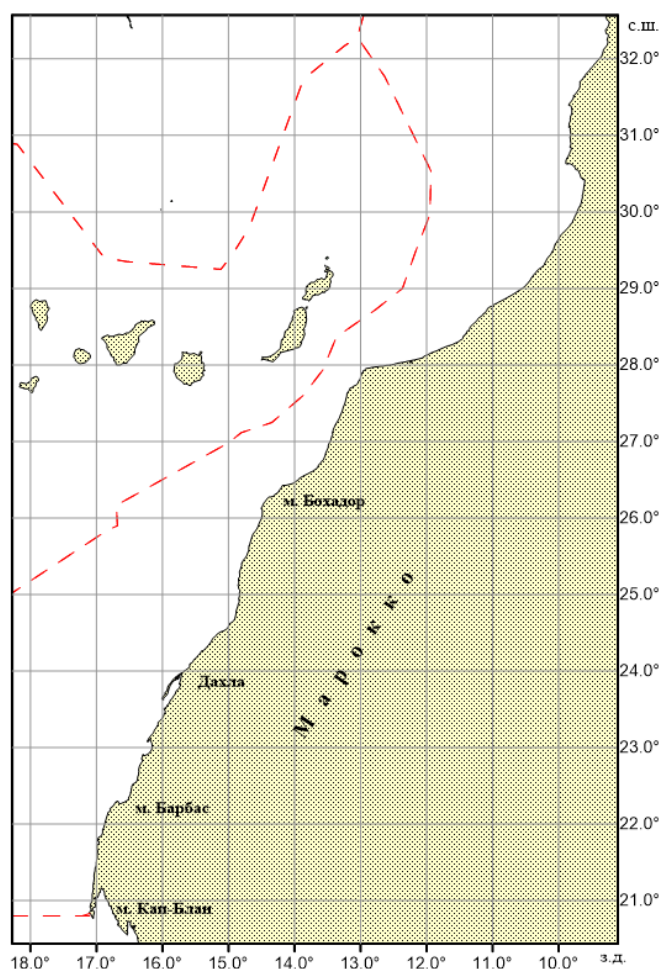


Рисунок 2.1. – Район исследования – побережье Марокко

Данный район исследования находится под влиянием Канарского апвеллинга, но не охватывает всю зону его действия, так как расположен северо-восточнее основного очага, который мы можем наблюдать на рисунке 2.2.

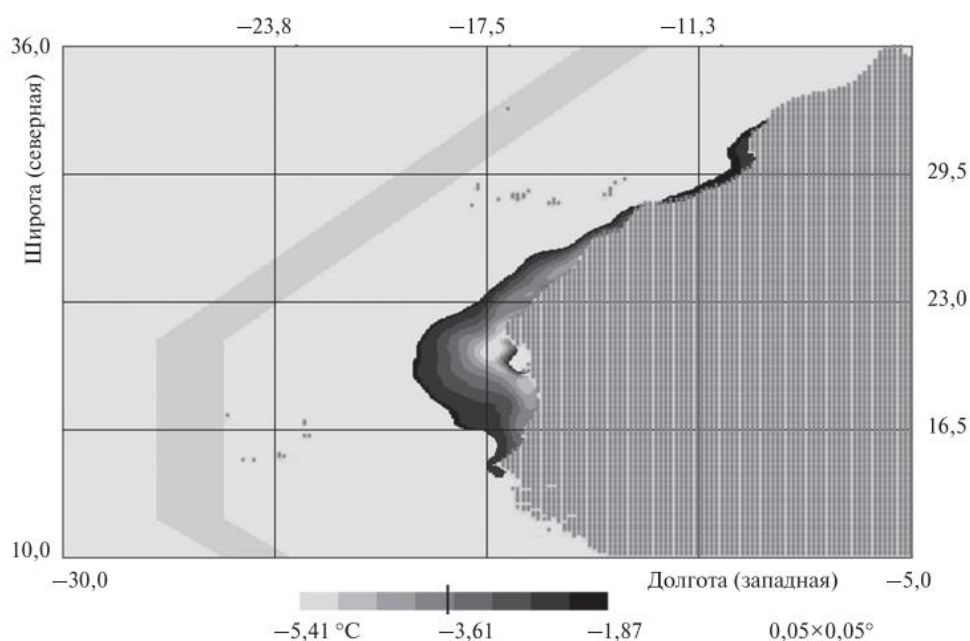


Рисунок 2.2 – Канарский апвеллинг. Среднее многолетнее значение TUI в мае за период 1985–2017 гг. Серой ломаной полосой показана оффшорная область для расчёта TUI [10]

Основными материалами послужили данные об уловах Российской Федерации в зоне промысла у побережья Марокко, предоставленные АтлантНИРО. Схема расположения судов в период промысла в 2016 – 2021 гг. представлена на рисунке 2.3.

Также из архива данных АтлантНИРО получены значения натуральных наблюдений по температуре поверхности океана (ТПО) и солёности на различных горизонтах. Примеры полей представлены на Рисунке 2.4.

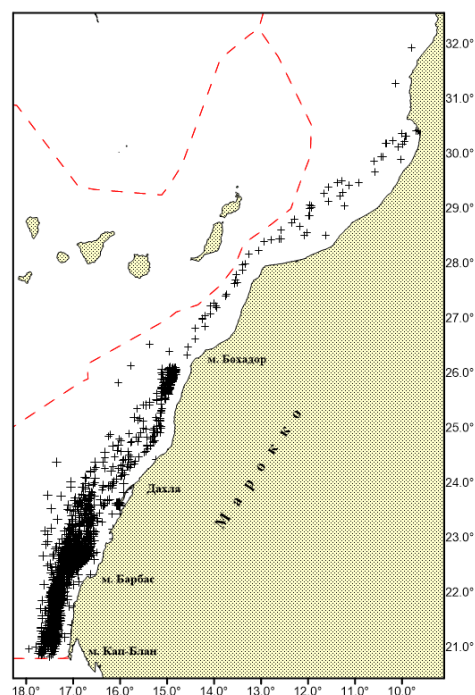


Рисунок 2.3—Схема расположения судов за 2016-2021 гг.

По рисунку 2.4 отчетливо видно, что количество значений натуральных данных очень ограничено, из-за чего нельзя дать полноценную характеристику исследуемого района. В связи с этим данные по температуре и солености на поверхности воды за период 2016-2021 гг. были скачаны из базы данных «Copernicus Marine MyOcean Viewer. Global Ocean Physics Reanalysis» [11].

В работе использованы значения гидрохимических показателей по результатам натуральных наблюдений из базы данных АтлантНИРО за октябрь 2019 года, которые были дополнены данными из «Copernicus Marine MyOcean Viewer. Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast» за 2016 – 2021 гг.[12].

Гидрохимические работы включали анализ проб воды для определения содержания в ней растворенного кислорода, минерального фосфора. Пробы отбирались на стандартных горизонтах и на максимальной глубине станции. Определение содержания в воде кислорода производилось по методу Винклера, фосфора фосфатов - по методу Морфи-Райли.

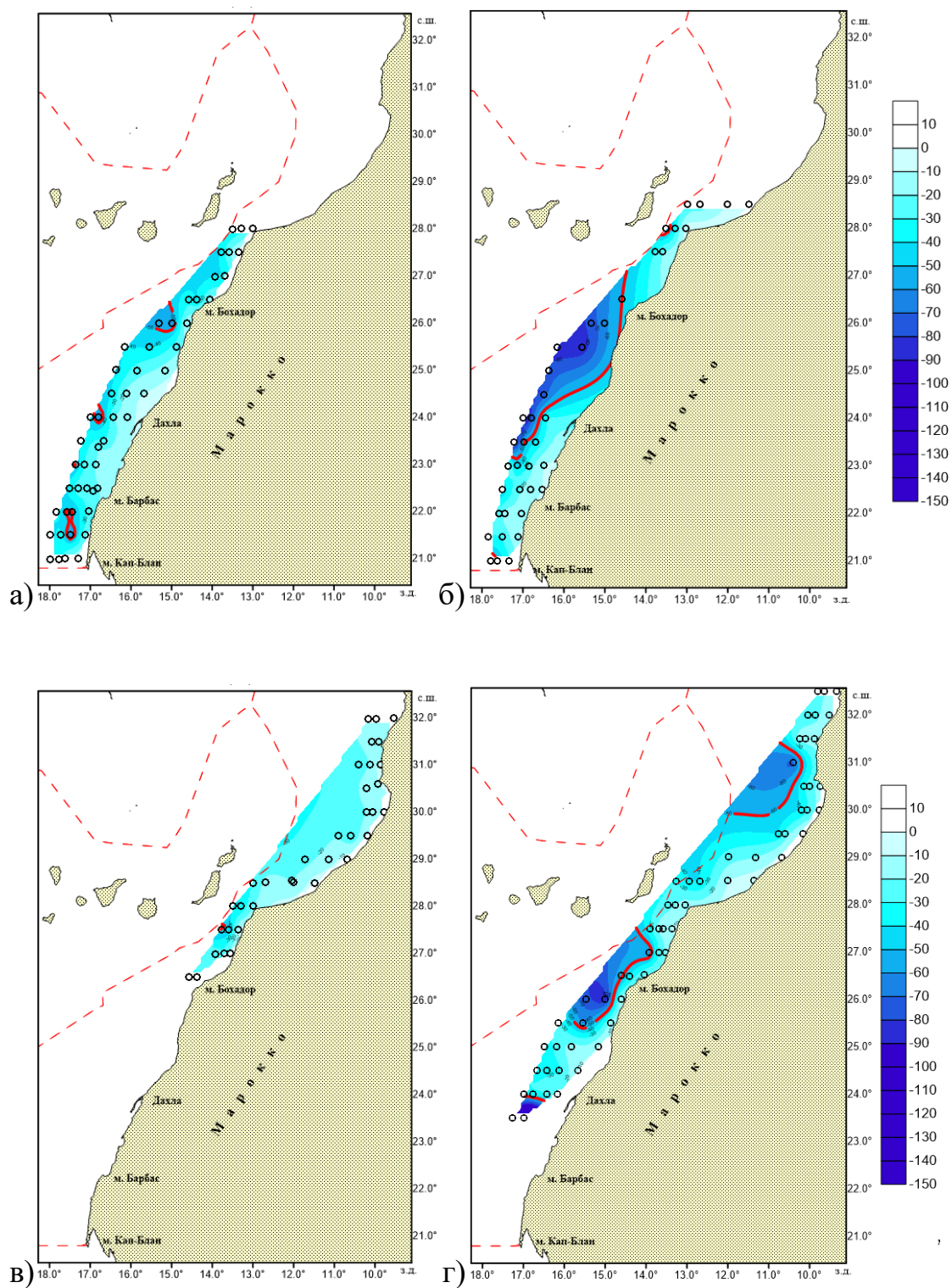


Рисунок 2.4 –Глубина залегания термоклина (в метрах) по натурным данным

АтлантНИРО: а – ноябрь 2016 г.; б – ноябрь 2021 г.; в – октябрь 2003 г.;

г – октябрь 2017 г.

2.2 Обработка промысловых рядов

Наиболее используемыми параметрами промысла являются промысловое усилие, промысловая эффективность (на практике используется термин «улов на усилие»), промысловая нагрузка [13].

Промысловое усилие – это физический труд, затраченный на лов рыбы или других морепродуктов с использованием различного оборудования, и выражается в количественной мере. Она измеряется в тоннах, килограммах или других единицах массы, и указывает на уровень использования ресурсов моря в определенной зоне за определенный период времени. Промысловое усилие включает в себя не только количество выловленной рыбы, но и использование техники, уловистости навесок и приманок, скорость и продолжительность работы, а также другие факторы, которые влияют на итоговую массу продукции [13–15].

Улов на усилие (catchpereffort) – это мера эффективности рыболовства, которая показывает количество рыбы или других морепродуктов, выловленных за единицу промыслового усилия. Обычно это выражается в тоннах рыбы на одну единицу промыслового усилия, например, тонна рыбы на 1000 часов рыбалки [13, 14]. Улов на усилие является важным инструментом для управления рыболовством, так как он позволяет оценить уровень использования морских ресурсов в определенной зоне за определенный период времени и, соответственно, принимать меры по охране рыбных запасов и управлению рыболовством. В идеале, улов на усилие должен быть стабильным и поддерживать устойчивые запасы рыбы и других морепродуктов.

Исходя из промыслового усилия можно с достаточной точностью определять промысловую интенсивность, иначе называемую интенсивностью лова [14]. Не существует единого толкования понятия "интенсивность лова", как и многих других параметров рыболовства. Одни исследователи расценивают интенсивность лова как отношение обловленной площади к площади поверхности водоема (геометрическая интенсивность лова), тогда как

другие определяют ее через количество участвующих в промысле судов, орудий лова и времени. Отсутствие единого подхода в оценке столь важного параметра создает серьезные трудности при анализе воздействия рыболовства на запасы рыбы и решении оперативных вопросов по регулированию промысла.

При траловом лове показателями промыслового усилия считаются [15]:

- количество рыболовных комплексов (судно с орудием лова и командой);
- временные показатели лова или промысла; – показатели судов (мощность главного двигателя, длина или водоизмещение судна);
- показатели орудий лова (габаритные размеры).

Наиболее распространенным показателем эффективности промышленных усилий в траловом лове является временной показатель лова - количество времени, затраченного на траление в течение одного часа. Оптимальная работа экипировки оценивается через соотношение улова и времени промысловых усилий, то есть через отношение улова к длительности работы трала. Если траловое рыболовство занимает 1 час промысловых усилий, то показатель эффективности определится отношением поимки к данному временному параметру [15].

Для определения промысловой нагрузки на основе промысловых усилий обычно используются суточные показатели производительности лова. Затем переходят на определение продуктивности лова или промысла за более длительный период - месяц или год.

Основным требованием к показателям промыслового усилия является их тесная взаимосвязь с уловом [16]. Однако, промысловые единицы могут быть неодинаковыми, так как одной единице усилия может соответствовать различное количество улова или производительности лова. В связи с этим, промысловые усилия стандартизируются для учета неравноценности. Например, если показателем промыслового усилия является количество промысловых единиц, то одну из промысловых единиц принимают за

эталонную и ее улов равен единице [16]. Другие промысловые единицы имеют промысловое усилие больше или меньше эталонной, в зависимости от производительности лова.

Зная данные об уловах в каждом месяце, были получены общие значения вылова по годам (Таблица 2) и построена диаграмма (Рисунок 2.5), отображающая полученные результаты. С апреля 2020 по июль 2021 гг. данные по вылову отсутствуют, так как в этот период из-за пандемии промысел не осуществлялся.

Таблица 2. Общий вылов российскими промысловыми судами у побережья Марокко. 2016–2021 гг.

Общий вылов, тонн												
Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	2307	-	-	-	-	892	8070	18235	17908	21152	23192	23861
2017	12026	9868	3613	-	-	-	4627	21708	24305	22854	23529	21082
2018	12053	6438	2623	-	-	1277	8565	13026	17159	20881	16232	16711
2019	15263	12420	5351	-	-	-	1165	11949	15781	17758	20137	19116
2020	12335	7207	5918	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021	-	-	-	-	-	-	891	13424	14019	12839	13468	-

Таблица 3. Улов на усилие при промысле российскими судами у побережья Марокко. 2016–2021 гг.

Улов на усилие												
Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	768.8	-	-	-	-	446	1614	1823	1990	2644	2319.2	2651
2017	1503	1644.7	722.6	-	-	-	771.2	2412	2430	2285	2352.9	2342
2018	1507	1287.6	874.5	-	-	639	1713	1861	2451	2610	2318.9	2387
2019	2180	1774.2	1070	-	-	-	582.5	2390	2254	1776	2237.4	2124
2020	1762	800.81	1184	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021	-	-	-	-	-	-	222.7	2685	2336	1605	1683.4	-

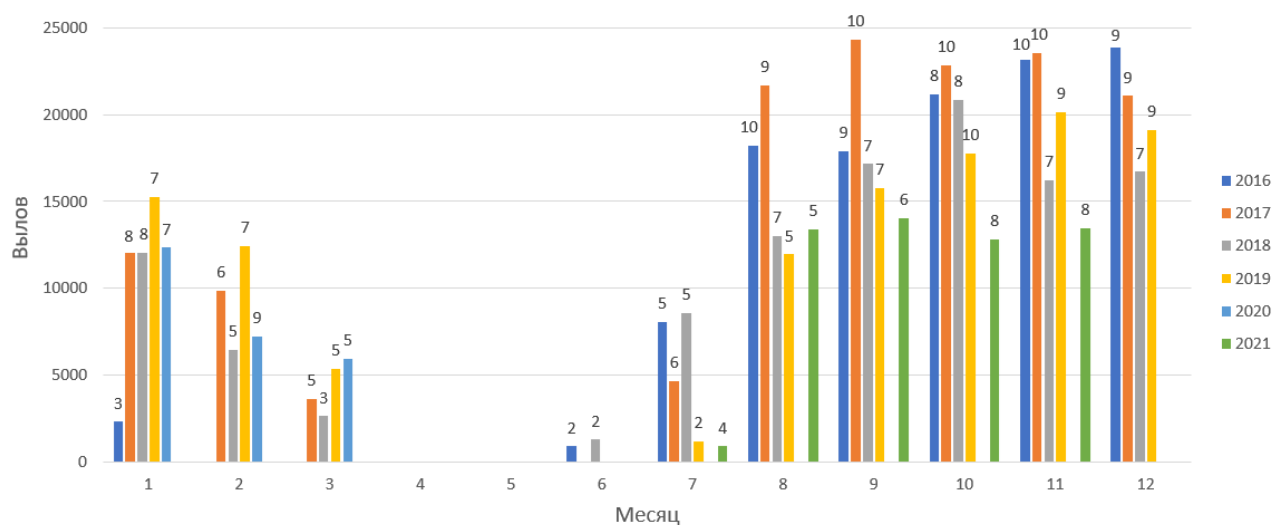


Рисунок 2.5 – Динамика вылова российскими промысловыми судами у побережья Марокко с 2016 по 2021 гг.

Общий вылов не может являться единственным критерием для определения численности рыб в регионе, так как существует ряд факторов, влияющих на его размер, которые не связаны с реальной численностью рыб в водоеме. Например, можно выловить больше рыбы, используя более эффективное рыболовное снаряжение, и таким образом, нарушить баланс. Поэтому, для более корректной оценки численности рыбных запасов мы перейдем к оценке улова на усилие, где будет учтено количество судов, осуществлявших промысел в конкретный период. Результаты оценки улова на усилие и его межгодовая изменчивость представлены в таблице 3 и на рисунке 2.6 соответственно.

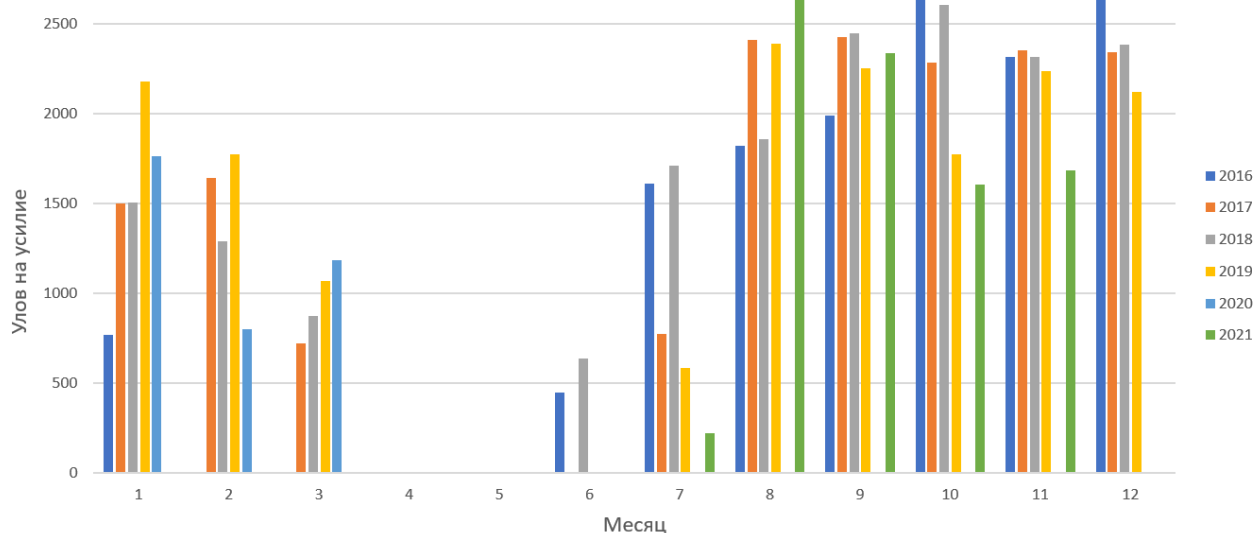


Рисунок 2.6 – Изменение улова на усилие для вылова российскими промысловыми судами у побережья Марокко с 2016 по 2021 гг.

По таблице 3 и рисунку 2.6 мы можем сказать, что наибольшая промысловая интенсивность приходится на более холодные месяцы, как раз в тот период, когда Канарский апвеллинг наиболее активен. В это время происходит более интенсивное перемешивание поверхностных вод и вод, находящихся на глубине. В теплые месяцы Канарский апвеллинг менее интенсивен. Это связано с тем, что летом атлантические антициклоны ослабевают, и происходит более медленное перемешивание поверхностных и более глубоких вод, что приводит к уменьшению интенсивности апвеллинга. Это в свою очередь влияет на уменьшение поступления биогенных веществ в фотический слой, что сказывается и на динамике промысла.

Зная координаты судов, где происходил вылов, в программе OziExplorer [17] была посчитана площадь промысла по месяцам для каждого года. В связи с перемещением судов к северо-западу, для более корректной оценки площади, район разбивался на несколько участков. Также при определении площади исключались «выбросы» (одиночные суда, которые находились далеко от

общего района добычи рыбного промысла). Результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4. Площадь района промысла российскими судами у побережья Марокко с 2016 по 2021 гг.

Год	Площадь промысла, км ²											
	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	2034	-	-	-	-	7258	23682	45039	71754	56260	44014	64620
2017	110324	50461	28360	-	-	-	49454	48602	46605	74510	79446	78527
2018	60144	61318	27114	-	-	23874	37969	26033	48161	65165	58343	68978
2019	115882	89360	68890	-	-	-	3525	42604	56943	58960	76820	87592
2020	78329	44506	81317	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2021	-	-	-	-	-	-	12107	49235	30634	53491	55404	-

Если сравнить данные из таблицы 4 с данными улова на усилие (Таблица 3), то можно заметить, что далеко не всегда большое значение площади промысла соответствует большому значению улова. Например, в январе 2017 года площадь промысла составила 110324 км², а улов на усилие всего 1503,2 т/судно. В то время как в январе 2011 года площадь равна 44014 км², а улов на усилие составил 2319,2 т/судно, что, наиболее вероятно, свидетельствует о большом скоплении рыб в этом подрайоне.

2.3 Методы исследования

В работе были использованы методы статистического анализа: оценка первичных статистик; классификация с помощью кластерного анализа и метода К-средних, а также оценка трендов временных рядов.

Описательная статистика – это метод, который используется для описания и систематизации данных. Он позволяет понимать основные характеристики и распределение данных. В описательной статистике

используются такие меры, как среднее значение, медиана, мода, дисперсия, стандартное отклонение и интерквартильный размах, чтобы описать данные.

1. Среднее значение (Mean)

Среднее арифметическое значение (M) – это сумма всех значений, деленная на общее количество значений (N).

$$M = \frac{\sum x}{N}, \quad (1)$$

где $\sum X$ – сумма всех значений в выборке, N – общее количество значений.

2. Медиана (Median)

Медиана (Me) – это центральное значение набора данных. Это значение делит данные на две равные (почти равные) части.

$$\sum_{i=1}^N |x_i - Me| = \min, \quad (2)$$

3. Мода (Mode)

Мода (Mo) – это значение, которое наиболее часто встречается в наборе данных.

Для набора данных, где значения повторяются, самое частотное значение может иметь несколько мод.

4. Дисперсия (Variance)

Дисперсия (S^2) – это мера разброса данных. Большое значение дисперсии указывает на большой разброс данных, а маленькое значение – на маленький разброс.

$$\delta_2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}, \quad (3)$$

5. Стандартное отклонение (Standard Deviation)

Стандартное отклонение (S) – это корень из дисперсии. Оно показывает, как сильно значения разбросаны относительно среднего значения.

$$S = \sqrt{S^2}, \quad (4)$$

2.3 Метод кластерного анализа.

Классификация – это метод разделения множества объектов на группы или кластеры по различным критериям сходства. Эти критерии могут быть основаны на различных признаках, которые помогают определить принадлежность объекта к определенному классу или кластеру. В целом, можно сказать, что классификация позволяет выделить из множества наиболее важные его особенности и отделить их от менее важных [18].

Классификация метода кластерного анализа происходит по типу иерархии, которую строит алгоритм кластеризации. Выделяют два типа иерархии [18, 19]:

1. Иерархическая агломеративная кластеризация (bottom-up). В этом типе алгоритма все объекты рассматриваются в качестве отдельных кластеров, которые постепенно объединяются в более крупные кластеры на основе сходства между объектами. Алгоритм начинает работу с поиска двух ближайших объектов и объединяет их в один кластер. Затем алгоритм находит следующую ближайшую пару кластеров и объединяет их. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет образован один большой кластер, содержащий все объекты. Иерархическая агломеративная кластеризация может быть представлена в виде дендрограммы, в которой вертикальными линиями обозначаются кластеры, а горизонтальные линии - расстояния между кластерами.

2. Иерархическая дивизивная кластеризация (top-down). В этом типе алгоритма все объекты рассматриваются как один кластер, который постепенно разделяется на более мелкие кластеры на основе различий между объектами. Алгоритм начинает работу с кластера, содержащего все объекты, и разделяет его на два более мелких кластера на основе различий между объектами. Затем каждый из новых кластеров подразделяется на еще более мелкие кластеры с

помощью тех же правил. Процесс продолжается до тех пор, пока не будут образованы все отдельные кластеры. Иерархическая дивизивная кластеризация также может быть представлена в виде дендрограммы, но в этом случае линии отображают процесс разделения кластеров.

Метод классификации кластерного анализа заключается в разделении исходного набора данных на заданное число классов, на основе которых можно сделать выводы о характеристиках выбранной группы или о ее отличиях от других классов в наборе данных.

Для этого применяются различные алгоритмы кластерного анализа. В первом этапе объекты разбиваются на число кластеров, которое заранее определяется. Затем проводится анализ сходства или расстояния между объектами, который определяет, какие объекты имеют схожие характеристики и могут быть объединены в один кластер [18].

Как правило, после этого проводится анализ полученных кластеров и выявляются их характеристики. Можно использовать различные методы, например, сравнение средних значений переменных внутри кластеров, сравнение долей объектов с определенными характеристиками в каждом кластере или выполнение анализа дисперсии для каждого кластера.

Классификация начинается с выявления неоднородности исследуемых характеристик. Затем, необходимо выбрать систему признаков, которая максимально отличается по средним значениям от стандартных отклонений. Однако на практике это может быть довольно сложным, поскольку признаки обычно коррелируют между собой. После выбора системы признаков, следующим шагом является сокращение размерности матрицы признаков, сохраняя максимальное количество информации о них. Важно при сжатии матрицы признаков сохранять те, которые несут наиболее значимую информацию для классификации [18].

Классификация может быть реализована только при выборе подходящей меры близости. Поэтому выбирают коэффициент связи, который позволяет точно оценить степень сходства между исследуемыми признаками.

Наибольшую популярность имеют метрические показатели сходства, которые позволяют оценить сходство признаков в геометрическом пространстве.

Существует несколько распространенных метрических мер близости.

Если расстояние между некоторыми объектами X_j и X_{j+1} обозначить как $d(X_j, X_{j+1})$, то необходимо выполнение следующих условий:

$$d(X_j, X_{j+1}) \geq 0, \quad (5)$$

$$d(X_j, X_{j+1}) = 0, \text{ при } X_j = X_{j+1}, \quad (6)$$

$$d(X_j, X_{j+1}) = d(X_{j+1}, X_j), \quad (7)$$

$$d(X_j, X_{j+1}) \leq d(X_j, X_c) + d(X_{j+1}, X_c). \quad (8)$$

Рассмотрев последнее выражение, мы понимаем, что расстояние между двумя объектами, классифицируемыми в рамках данного метода, всегда будет минимальным по сравнению с другими расстояниями между этими объектами, проходящими через любую третью точку.

$$d(X_j, X_{j+1}) = \left[\sum_{i=1}^n p_i (X_{ij} - X_{i,j+1})^2 \right]^{1/\varepsilon}, \quad (9)$$

Где n – число исходных признаков, p_i – вес i -го признака, ε – показатель степени.

Евклидово расстояние. Эта метрика является наиболее распространенной. Она измеряет расстояние между двумя объектами в многомерном пространстве:

$$d(X_j, X_{j+1}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - X_{i,j+1})^2}, \quad (10)$$

Иногда показатель степени принимается равным 1:

$$d(X_j, X_{j+1}) = \sum_{i=1}^n (X_{ij} - X_{i,j+1})^2. \quad (11)$$

Последнее выражение это - расстояние Манхэттенского блока. Эта метрика измеряет расстояние между двумя объектами как сумму модулей разницы между соответствующими координатами.

Районирование (partitioning) является одной из техник кластерного анализа, которая заключается в разделении исходного набора данных на заданное число кластеров, при этом каждый объект должен быть отнесен только к одному кластеру. Это означает, что число кластеров заранее задано и все объекты будут отнесены только к одному кластеру [18, 19].

Так как в данной работе использовались два метода классификации, то дальше мы рассмотрим их более подробно.

Классификация Уорда (Ward's hierarchical clustering) – это алгоритм иерархического кластерного анализа, который был разработан в 1963 году американским статистиком Джо Уордом.

Основной идеей этого метода является минимизация суммы квадратов расстояний между объектами внутри каждого кластера, а также максимизация расстояний между кластерами. Для этого используется мера близости между кластерами, называемая квадратом расстояния.

Алгоритм классификации Уорда представляет собой последовательное объединение объектов в кластеры. Начальный этап - каждый объект является отдельным кластером. Затем в цикле алгоритма (Рисунок 2.7) происходит объединение близких объектов в кластеры.

Несмотря на то, что классификация Уорда является одним из наиболее использованных подходов в иерархической кластеризации, у нее есть некоторые недостатки:

1. чувствительность к выбросам: классификация Уорда может быть чувствительна к выбросам, что может привести к искажению кластеризации в целом;

2. ограниченная приспособляемость к большим данным: классификация Уорда может столкнуться с проблемами вычислительной сложности при использовании в больших выборках;

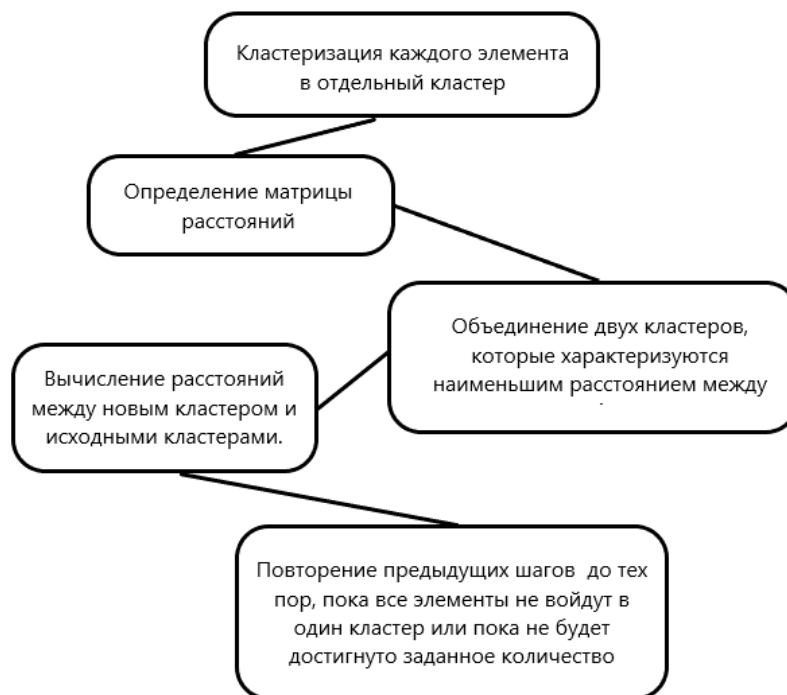


Рисунок 2.7– Процедура иерархической классификации Уорда

3. крайне трудная интерпретация: после выполнения кластеризации Уорда может быть сложно визуализировать кластеры и интерпретировать их.

Метод К-средних (англ. K-means) – это один из самых популярных алгоритмов машинного обучения, который применяется для задач кластеризации.

В отличие от предыдущего метода, метод к-средних не подразумевает определения или хранения матриц расстояний и сходств, то есть на каждом последующем этапе количество кластеров и весов объектов возрастает, а сами матрицы уменьшаются [19]. Процедура итерационного классификации К-средних представлена на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8– Процедура итерационного классификации К-средних

Преимущества метода k -средних:

- простота реализации и использования;
- высокая скорость работы на больших выборках;
- позволяет легко изменять число кластеров при необходимости;
- показывает высокие результаты для сферических кластеров с равными внутрикластерными дисперсиями.

Недостатки метода k -средних:

- требует знания количества кластеров: перед запуском алгоритма необходимо знать количество кластеров, которые мы хотим найти;
- чувствительность к выбросам: метод k -средних может кластеризовать выбросы в кластеры, что может привести к неправильной кластеризации;

- работает только на числовых данных: метод к-средних работает только с числовыми данными.

Чтобы подвергнуть данные по температуре и солености кластерному анализу их необходимо нормировать. Нормирование данных для кластерного анализа – это процесс масштабирования или стандартизации измерений различных переменных, чтобы они имели одинаковый вес при анализе. Это необходимо для того, чтобы различные переменные не вносили неравномерный вклад в расчеты. Нормирование данных помогает уменьшить влияние переменных, имеющих больший диапазон значений и больший разброс, и создает более точные кластеры на основе сходства между переменными. В данном исследовании использовался следующий вариант нормирования:

$$x' = \frac{x - \bar{x}}{\sigma t}, \quad (12)$$

Кластерный анализ проводился в ПО «STATISTICA». Для начала нужно было нормировать данные по температуре и солености, а затем составить «запись» за весь период исследования с 2016 по 2021 гг. После чего использовались несколько методов классификации: метод Уорда с использованием евклидовой метрики, метод Уорда с использованием 1-г Пирсона и метод К-средних. На выходе получили горизонтальные дендрограммы, исходя из которых выбрали оптимальное количество значимых кластеров для последующей классификации итерационным методом к-средних.

Для оценки долговременных тенденций в изменении анализируемых промысловых и океанологических характеристик использовался тренд-анализ.

Линейный тренд — это изменение переменной со временем, которое можно описать линейной функцией. Это означает, что величина изменения зависимой переменной (y) в модели будет пропорциональна величине изменения независимой переменной (x). Линейный тренд имеет вид:

$$y = a + b * x, \tag{13}$$

где y — значение зависимой переменной, x — значение независимой переменной, a и b — коэффициенты, которые определяют точку пересечения линии с осью y и её наклон соответственно.

Оценка линейного тренда производится с помощью регрессионного анализа, который позволяет определить коэффициенты a и b в уравнении тренда. Для оценки линейного тренда необходимо иметь данные, измеренные в разные моменты времени, и выбрать одну переменную как зависимую, а другую — как независимую.

Для оценки линейного тренда используется метод наименьших квадратов (МНК), который позволяет минимизировать сумму квадратов отклонений между фактическими и предсказанными значениями зависимой переменной. МНК анализ находит оптимальные значения коэффициентов a и b , которые минимизируют эту сумму.

Результатом регрессионного анализа является уравнение линейного тренда и коэффициенты его наклона и сдвига. Коэффициент b показывает, на сколько изменится значение зависимой переменной при изменении независимой переменной на единицу. Коэффициент a — это значение зависимой переменной, когда независимая переменная равна нулю.

Анализ линейного тренда позволяет оценить направление и силу связи между переменными и предсказать значения зависимой переменной для будущих значений независимой переменной.

Глава 3. Межгодовая изменчивость гидрологических и гидрохимических характеристик в зоне промысла у побережья Марокко

3.1. Результаты тренд-анализа рядов гидрологических и гидрохимических характеристик

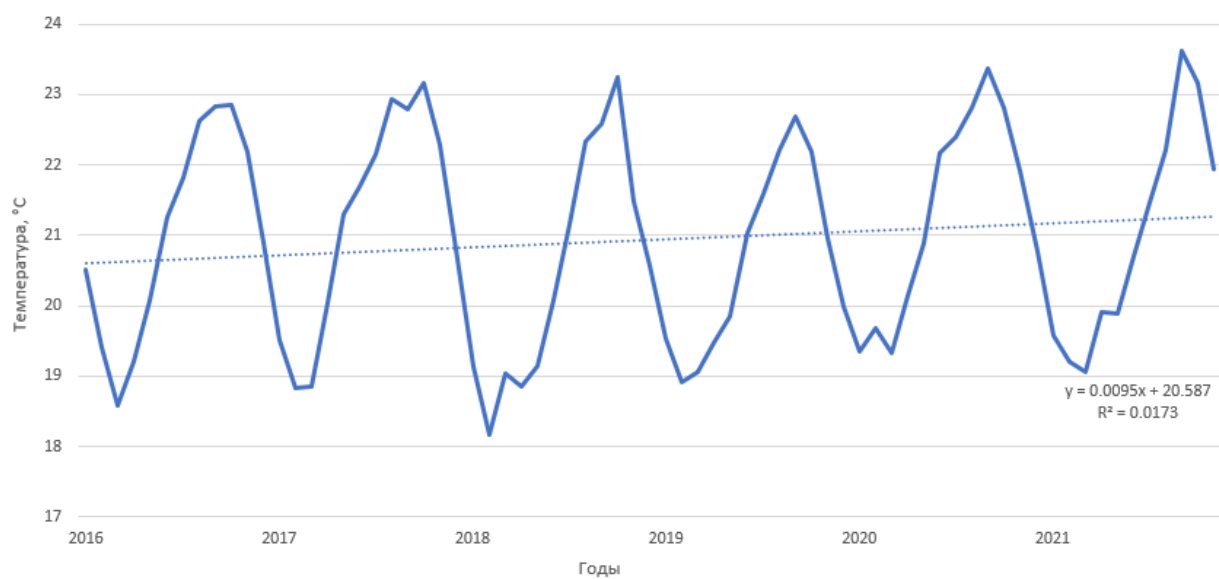
Рассмотрим межгодовую изменчивость гидрологических и гидрохимических показателей в период с 2016 по 2021 гг. в зоне промысла у побережья Марокко. Для этого значения данных характеристик были осреднены по всей исследуемой акватории (см. рисунок 2.1) для каждого месяца. Графики, отображающие полученные результаты, представлены на рисунках 3,1–3,2.

Для полученных рядов были рассчитаны линейные тренды и проведена оценка их значимости. Линии тренда, уравнения и коэффициенты детерминации приведены на рисунках 3.1 – 3.2.

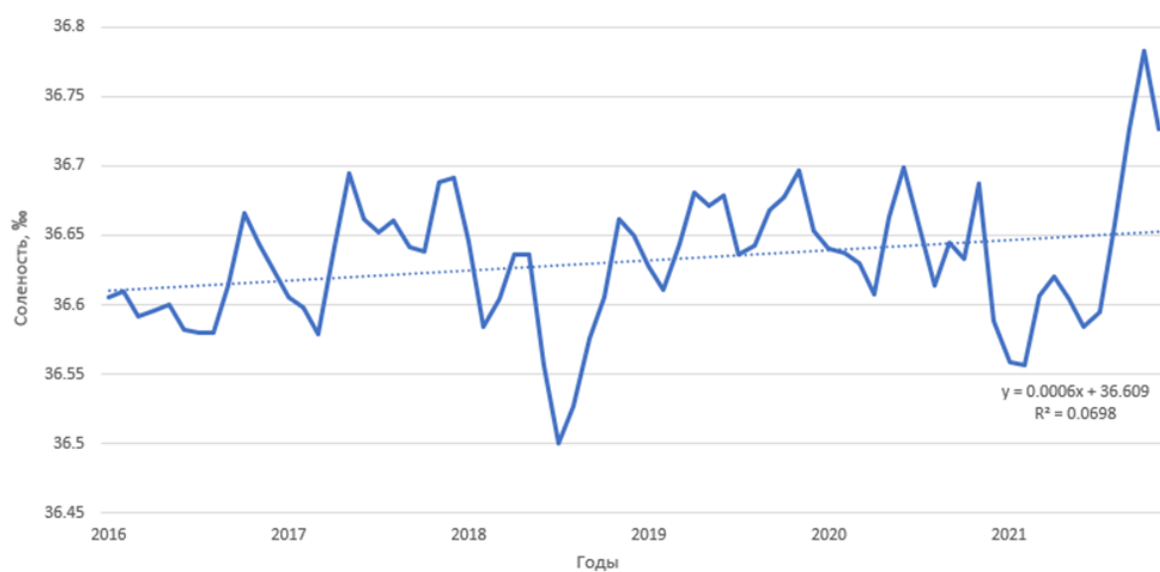
Чтобы оценить значимость тренда выдвигаем нулевую гипотезу $H_0: r=0$ и альтернативную ей $H_1: r \neq 0$. Для проверки гипотезы был выбран критерий Стьюдента. После чего определяем критическое значение $t_{кр}$ по уровню значимости α (принимается равным 5%) и числу степеней свободы $\nu=N-2$, где N -длина ряда. После чего необходимо сравнить t^* с $t_{кр}$ (по модулю) [20].

Если $t^* > t_{кр}$, то нулевая гипотеза отвергается. Линейный тренд вносит значительный вклад в формирование ряда.

Если $t^* < t_{кр}$, значит у нас нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу. Линейный тренд не вносит значительный вклад в формирование ряда.

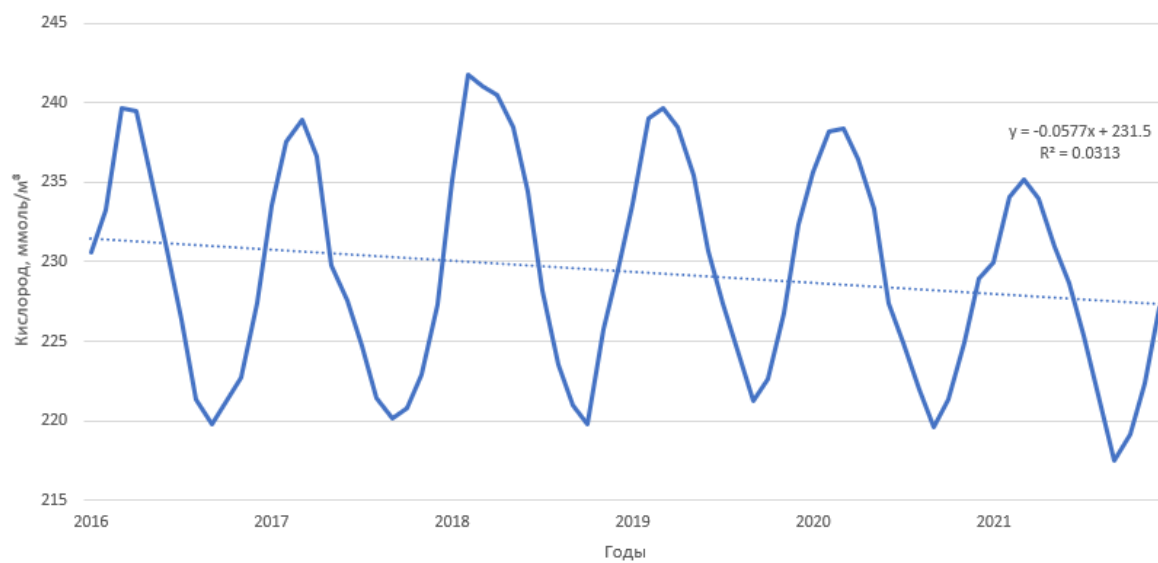


а)

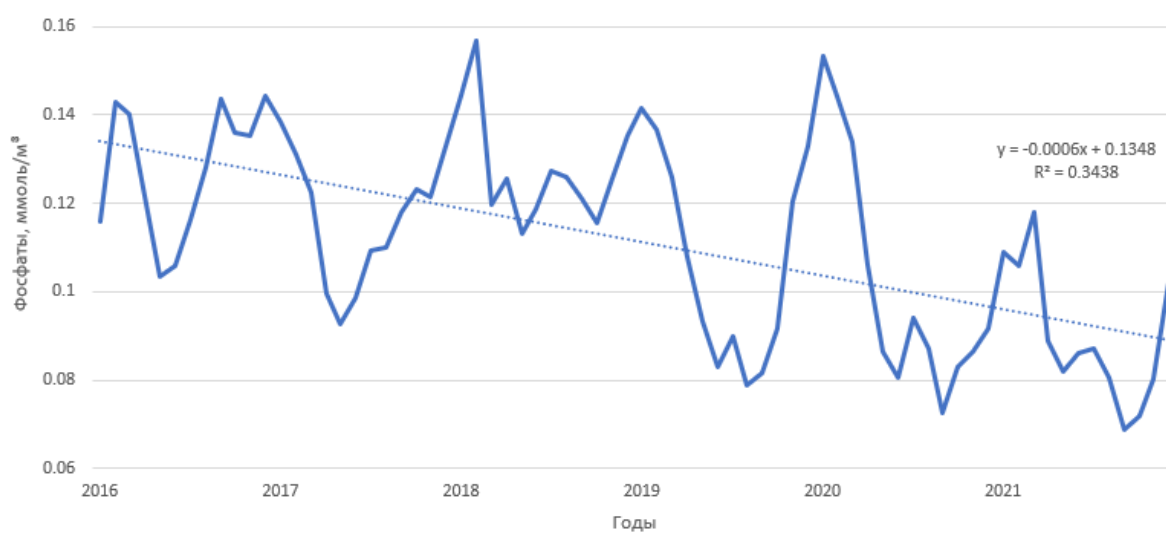


б)

Рисунок 3.1 – Межгодовая изменчивость ТПО и солёности у побережья Марокко с 2016 по 2021 гг.: а – ТПО, б – солёность.



а)



б)

Рисунок 3.2– Межгодовая изменчивость растворенного кислорода минерального фосфора у побережья Марокко с 2016 по 2021 гг.: а – растворенный кислород, б – минеральный фосфор.

Оценка значимости линейного тренда для ТПО

В данном случае $t^*=57,41$ больше $t_{кр}$ ($57,41>1,99$), значит нулевая гипотеза отвергается; $t^*=1,10$ меньше $t_{кр}$ ($1,10<1,99$), значит нулевая гипотеза принимается. Обобщая эти сравнения, делаем вывод, что линейного тренда нет, значит можно говорить о случайности в изменении значений переменной.

В общем случае мы видим, что значения температуры поверхности океана с 2016 по 2021 год увеличились. Можно предположить, что первой причиной этому стало глобальное потепление, а второй – снижение интенсивности восточного ветра над исследуемой акваторией.

Оценка значимости линейного тренда для солености показала, что нулевая гипотеза отвергается.

$$t^*=3293,3 \text{ больше } t_{кр} (3293,3>1,99)$$

$$t^*=2,28 \text{ больше } t_{кр} (2,28>1,99)$$

Значит, мы делаем вывод, что линейный тренд значим.

Общая тенденция изменения солености с годами мало прослеживается, в основном значения практически не изменяются, за исключением двух локальных выбросов в 2018 и 2021 гг.

Оценка значимости линейного тренда для растворенного кислорода показала, что нулевая гипотеза принимается.

$$t^*=143,63 \text{ больше } t_{кр} (143,63>1,99)$$

$$t^* = |-1,50| \text{ меньше } t_{кр} (|-1,50| < 1,99)$$

Значит, мы делаем вывод, что линейного тренда нет.

В общем случае четко прослеживается снижение значений растворенного кислорода с годами, что скорее всего произошло из-за увеличения ТПО. С увеличением температуры воды снижается растворимость кислорода, это означает, что насыщенное содержание кислорода в морской воде уменьшается. Кроме того, уменьшение содержания кислорода в океане может способствовать возможному увеличению концентрации других газов, таких как оксиды азота.

Оценка значимости линейного тренда для минерального фосфора показала, что нулевая гипотеза отвергается.

$$t^*=30,63 \text{ больше } t_{кр} (30,63>1,99)$$

$$t^* = |-6,06| \text{ больше } t_{кр} (|-6,06|>1,99)$$

Значит, мы делаем вывод, что линейный тренд значим.

В общем случае четко прослеживается снижение значений минерального фосфора с годами. С увеличением температуры воды, его растворимость уменьшается и это может привести к снижению доступности минерального фосфора для фотосинтезирующих морских организмов. Фосфор является необходимым элементом для процесса фотосинтеза, транспортировки энергии и биологической фиксации углерода. Недостаток фосфата в океане, вызванный понижением его растворимости при повышении температуры, может привести к уменьшению производительности фитопланктона, что может повлиять на популяции рыб и другие биологические системы. Минеральный фосфор может поступать на поверхность океана в процессе апвеллинга, что и наблюдается в исследуемой области.

Подводя итог полученным результатам (Таблица 5), мы видим, что линейный тренд хорошо отражает общую тенденцию изменений наших характеристик, благодаря чему можно наглядно представить динамику их развития и получить соответствующие оценки временного ряда. Значимые линейные тренды были характерны в 2016–2021 гг. для солености и минерального фосфора. Соответственно, для ТПО и растворенного кислорода линейные тренды незначимы.

Таблица 5 – Результаты тренд-анализа исследуемых характеристик.

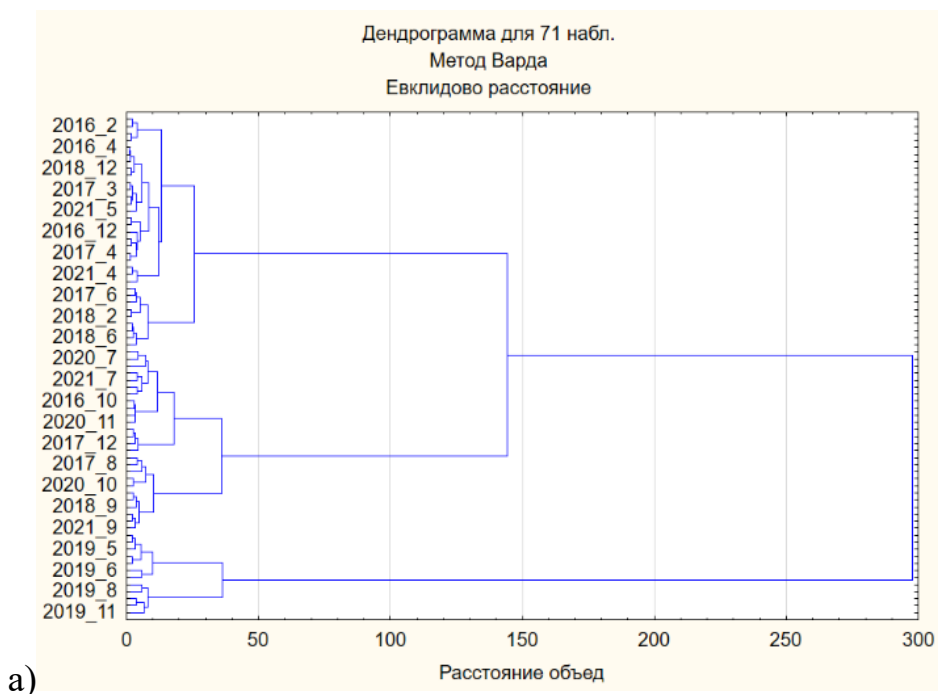
Характеристика	Знак	Величина	Значимость
T	+	0.16 °C/год	незначим
S	+	0.02 ‰/год	значим
O ₂	—	0.58 ммоль/м ³ /год	незначим
P-PO ₄ ³⁻	—	0.01 ммоль/м ³ /год	значим

3.2. Результаты кластерного анализа временной изменчивости гидрологических характеристик

Чтобы оценить влияние гидрологических характеристик на изменение промысла на основании кластерного анализа были выявлены месяцы с одинаковым пространственным распределением ТПО и солености за период с 2016 по 2021 гг. Дендрограммы, иллюстрирующие полученные результаты, представлены на рисунках 3.3–3.4.

Для метода К-средних по ТПО и солености были выбраны пять самых крупных кластеров. После проведения анализа на выходе получили месяцы с одинаковым характером распределения наших параметров. Осреднив значения для каждого кластера, получили типовое распределение характеристик.

Для каждого кластера рассчитывались описательные статистики и проводилась оценка достоверности различий их характеристик (см. таблицы 6 – 7).



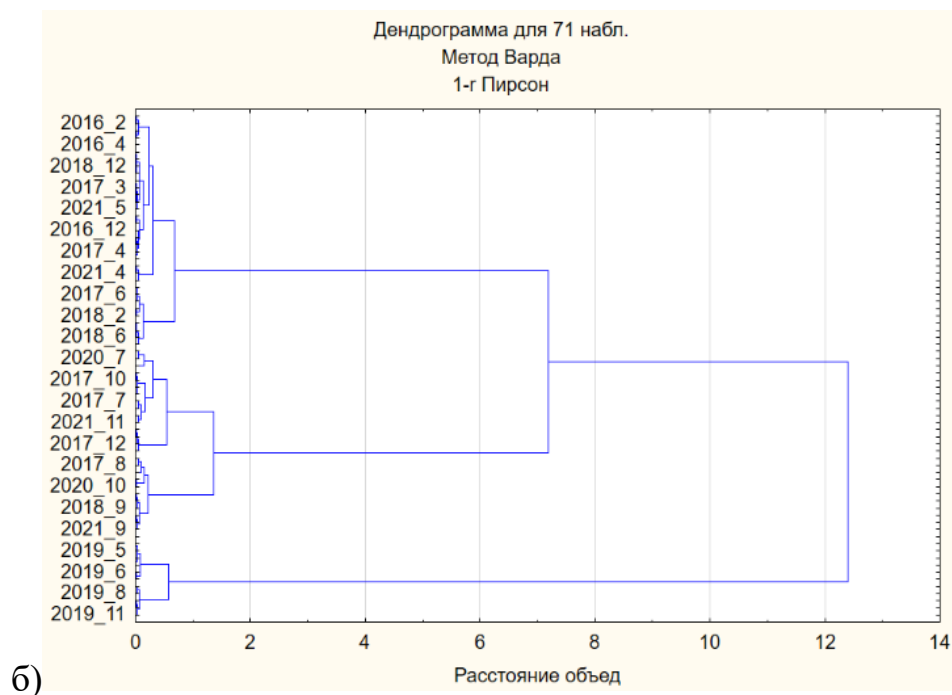
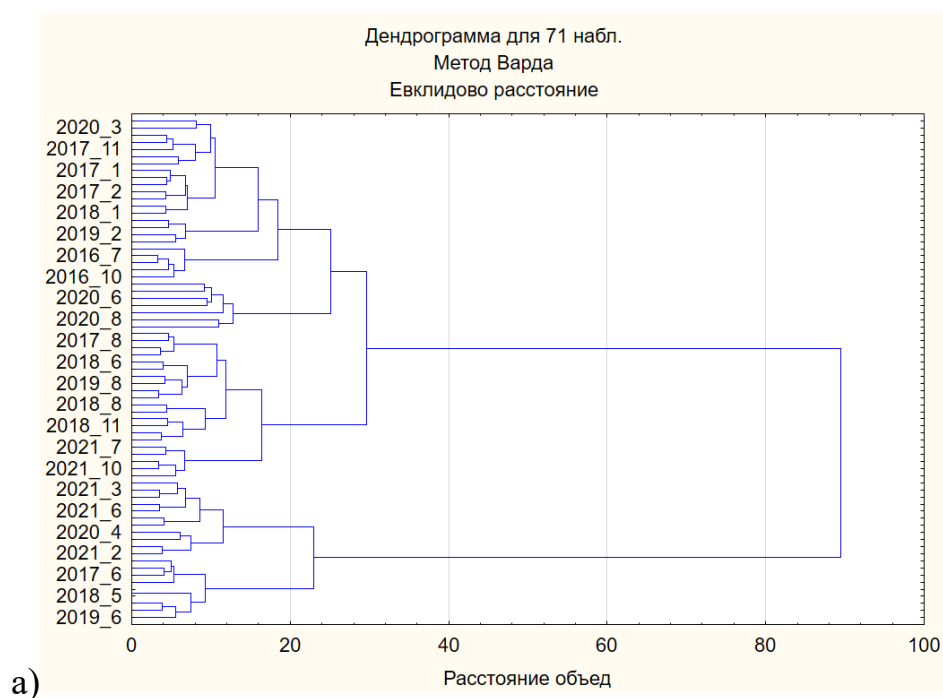


Рисунок 3.3—Дендрограмма по ТПО: а –для иерархического метода Уорда, выполненного при помощи Евклидовой метрики, б –для иерархического метода Уорда, выполненного при помощи 1-г Пирсона.



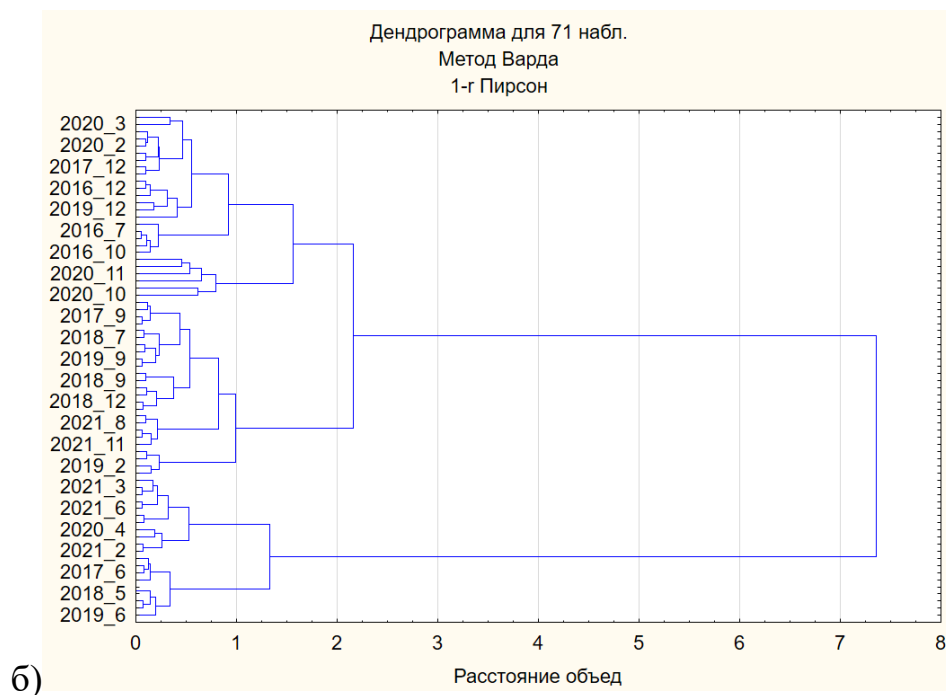


Рисунок 3.4–Дендрограмма по солености: а – для иерархического метода Уорда, выполненного при помощи Евклидовой метрики, б – для иерархического метода Уорда, выполненного при помощи 1-г Пирсона.

Таблица 6– Описательная статистика для каждого кластера по ТПО.

Характеристика	Кластеры				
	1	2	3	4	5
Среднее	22.76	21.93	19.69	20.56	19.89
Стандартная ошибка	0.09	0.10	0.08	0.08	0.09
Стандартное отклонение	1.10	1.22	1.09	1.03	1.14
Дисперсия выборки	1.22	1.49	1.18	1.06	1.31
Размах	5.52	5.22	4.92	4.48	4.81
Минимум	20.24	19.08	17.65	18.55	18.17
Максимум	25.75	24.29	22.56	23.02	22.98

Таблица 7 – Описательная статистика для каждого кластера по солености.

Характеристика	Кластеры				
	1	2	3	4	5
Среднее	36.62	36.63	36.64	36.61	36.66
Стандартная ошибка	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01
Стандартное отклонение	0.23	0.25	0.21	0.25	0.13
Дисперсия выборки	0.05	0.06	0.04	0.06	0.02
Размах	1.04	1.09	1.00	1.09	0.59
Минимум	35.91	35.91	36.01	35.85	36.23
Максимум	36.95	37.00	37.01	36.94	36.83

По таблицам 6 и 7 видно, что кластеры по температуре значительно различаются. Особенно заметны отличия между их средними значениями и стандартным отклонением, что позволяет судить о принадлежности к определенному кластеру. Для первого и второго кластера характерны самые высокие значения температур (22.76 и 21.93°C соответственно), для третьего и пятого – самые низкие (19.69 и 19.89°C соответственно) и четвертый имеет значение 20.56°C. А вот кластеры по солености схожи между собой. Если обратить внимание на их средние значения, то можно увидеть, что они практически идентичны, их значение изменяется в пределах 36.31–36.66‰. Только пятый кластер значительно отличается по стандартному отклонению, оно составило 0.13, в то время как у остальных кластеров они находятся в диапазоне 0.21-0.25. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что соленость не является определяющим фактором формирования данной зоны.

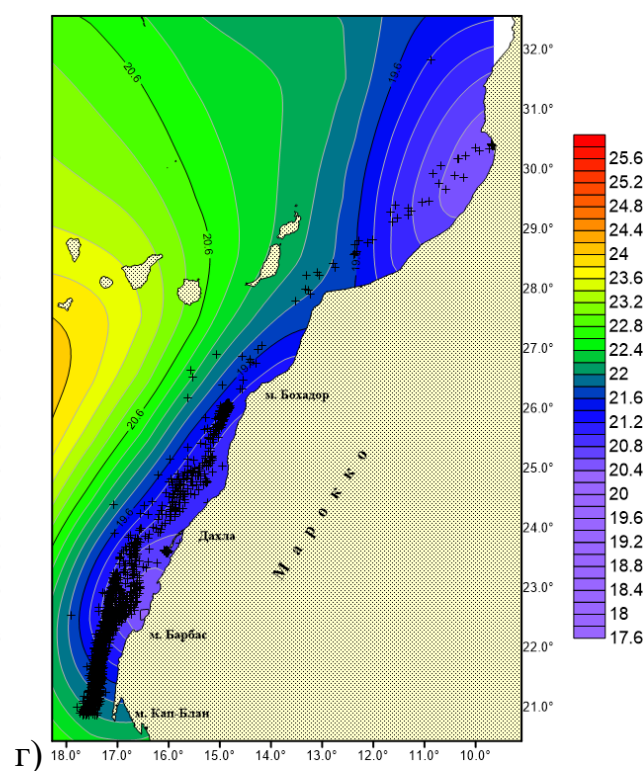
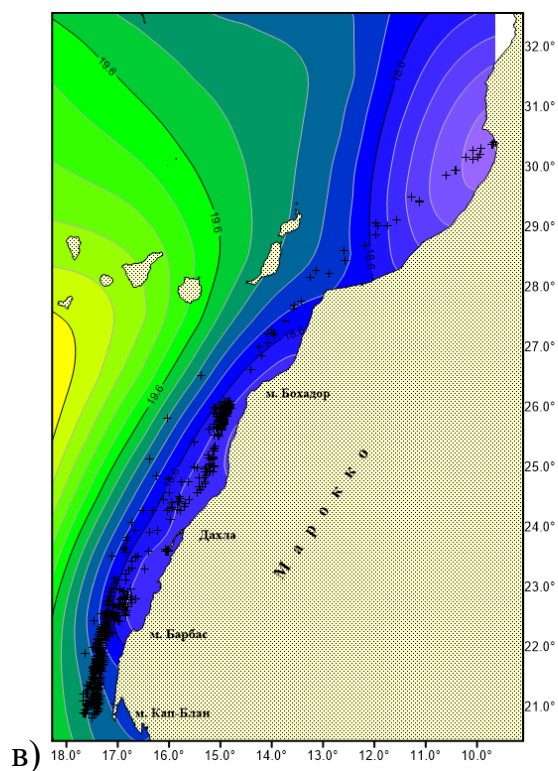
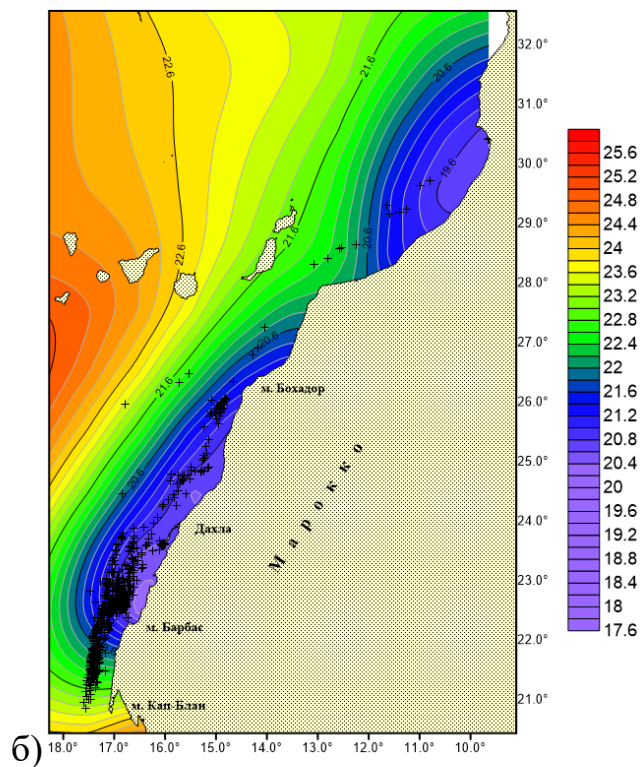
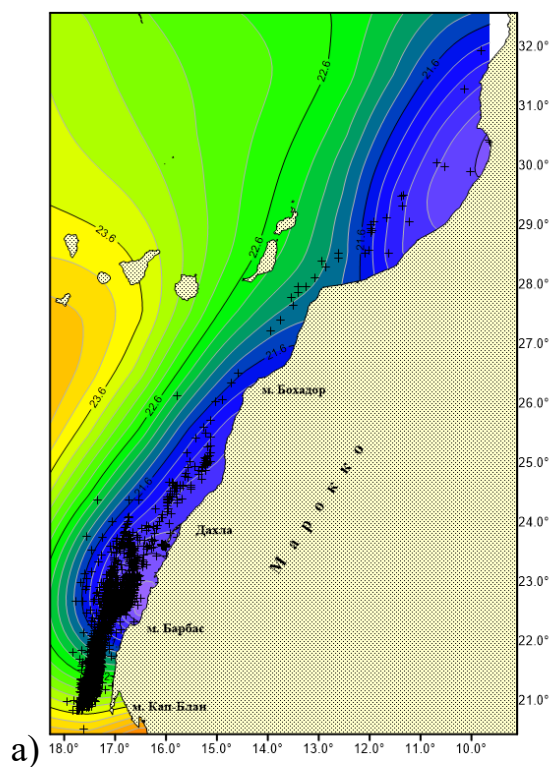
Дополнительно были рассчитаны коэффициенты корреляции между типовыми полями распределения температуры и солености для каждого кластера (Таблица 8).

Таблица 8 – Корреляция между типовыми полями распределения ТПО и солености для каждого кластера.

Кластеры по температуре	Коэффициент корреляции	Кластеры по солености	Коэффициент корреляции
1-2T	0.96	1-2S	0.91
1-3T	0.69	1-3S	0.61
1-4T	0.79	1-4S	0.79
1-5T	0.55	1-5S	0.74
2-3T	0.69	2-3S	0.44
2-4T	0.8	2-4S	0.64
2-5T	0.53	2-5S	0.66
3-4T	0.98	3-4S	0.83
3-5T	0.97	3-5S	0.50
4-5T	0.93	4-5S	0.68

По таблице 8 мы наблюдаем, что наибольшая корреляция для температуры наблюдается между 3-4, 3-5, 1-2 и 4-5 кластерами, что свидетельствует о высокой связи между ними. А вот для солености наибольшее значение корреляции приходится на 1-2 кластеры.

Для отображения пространственно-временной изменчивости температуры и солености в программе «Surfer» [21] были построены типовые распределения осредненных значений по каждому кластеру и добавлены соответствующие расположения судов (Рисунок 3.5 и 3.6).



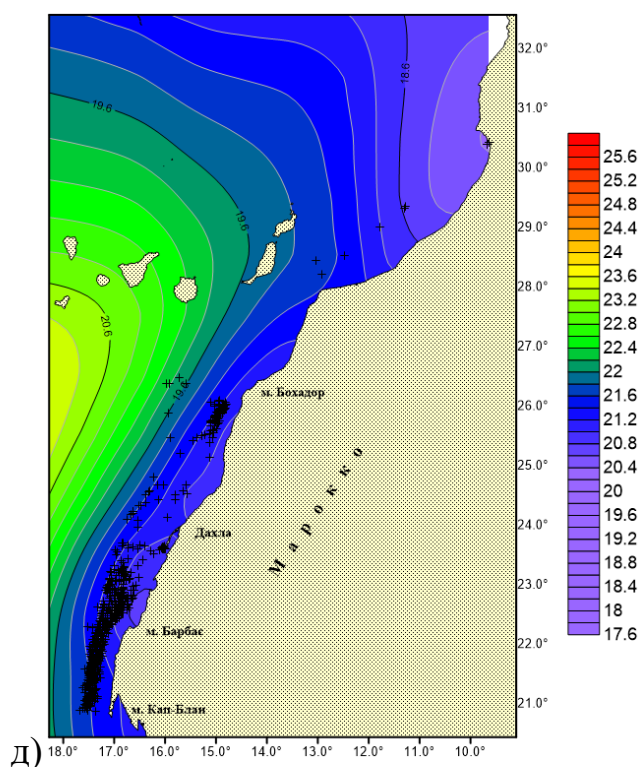


Рисунок 3.5 – Распределение температуры для каждого кластера и расположение судов у побережья Марокко: а – 1 класс; б – 2 класс; в – 3 класс; г – 4 класс; д – 5 класс).

По пространственному распределению температуры видно, что в прибрежной зоне в основном находятся воды апвеллинга, которые берут свое начало от 21° с.ш. Именно в этой узкой полосе располагаются основные районы промысла, чему свидетельствуют расположения судов 2016-2021 годах.

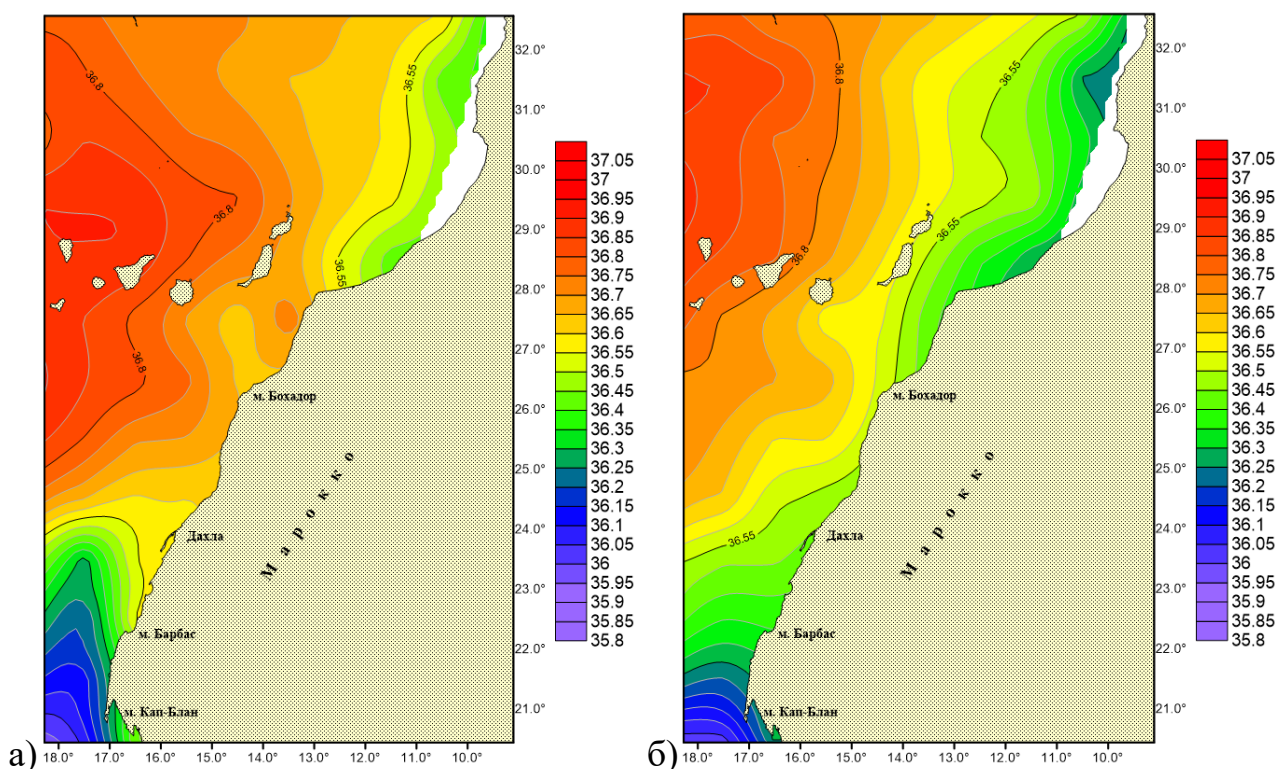
Наиболее интенсивной областью апвеллинга является зона у м. Кап-Блан, как раз там, где находится четкая привязанность нашего промысла к очагу апвеллинга. Наилучшие результаты промыслового усилия находятся в первом кластере, в котором наблюдаются самые высокие значения температуры воды и начинают локализоваться два очага: у южной части побережья и у северо-восточной части побережья Марокко.

Когда апвеллинг начинает проявляться более интенсивно, то за счет размытости характеристик промысловое усилие оказывается намного менее эффективным, что мы и видим на рисунке 3.5–д.

Но стоит отметить, что наименьшее значение промыслового усилия находится в 4 кластере, где апвеллинг уже начинает проявляться, но при этом еще недостаточно охладил поверхностный слой воды. Скорее всего, это можно объяснить тем, что основная часть пелагических видов рыб находилась в районе нереста и не мигрировала к южной части побережья.

Как говорилось ранее, соленость не является определяющим фактором, следовательно, сравнивать ее с положением судом нецелесообразно.

По рисунку 3.6 видно, что значения солености не сильно различаются. Во втором кластере находится зона более низкой солености вдоль береговой линии, а в третьем кластере несколько понижается соленость в северо-западной части района у Канарских островов. Больше значительных изменений не наблюдается.



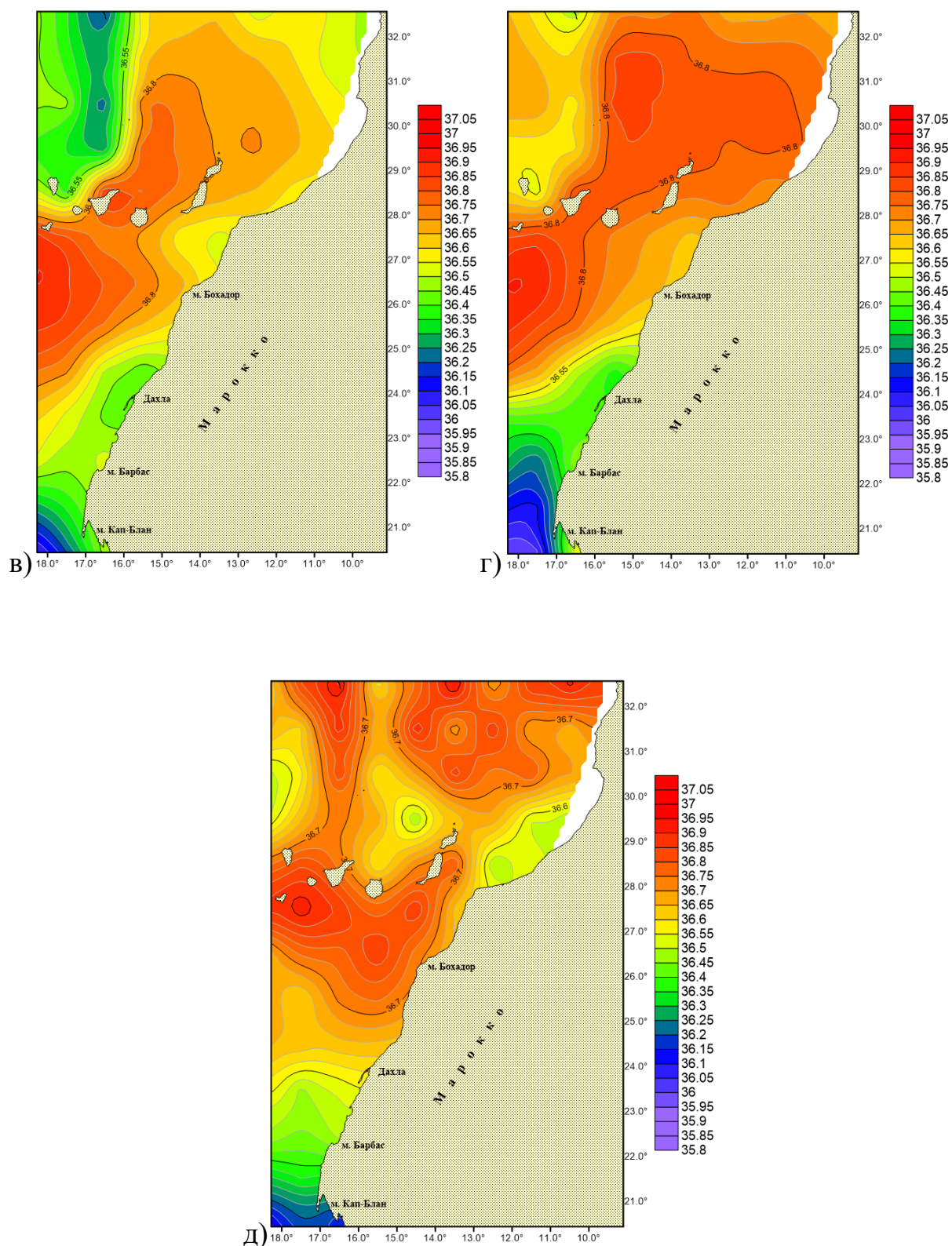


Рисунок 3.6 – Распределение солёности для каждого кластера у побережья Марокко: а – 1 кластер; б – 2 кластер; в)– 3 кластер; г – 4 кластер; д – 5 кластер.

Дополнительно были выбраны две точки (Рисунок 3.7) и по средним значениям гидрологических и гидрохимических данных были построены графики, чтобы проследить как в течении 6 лет изменяются показатели в очагах апвеллинга (Рисунки 3.8–3.11).

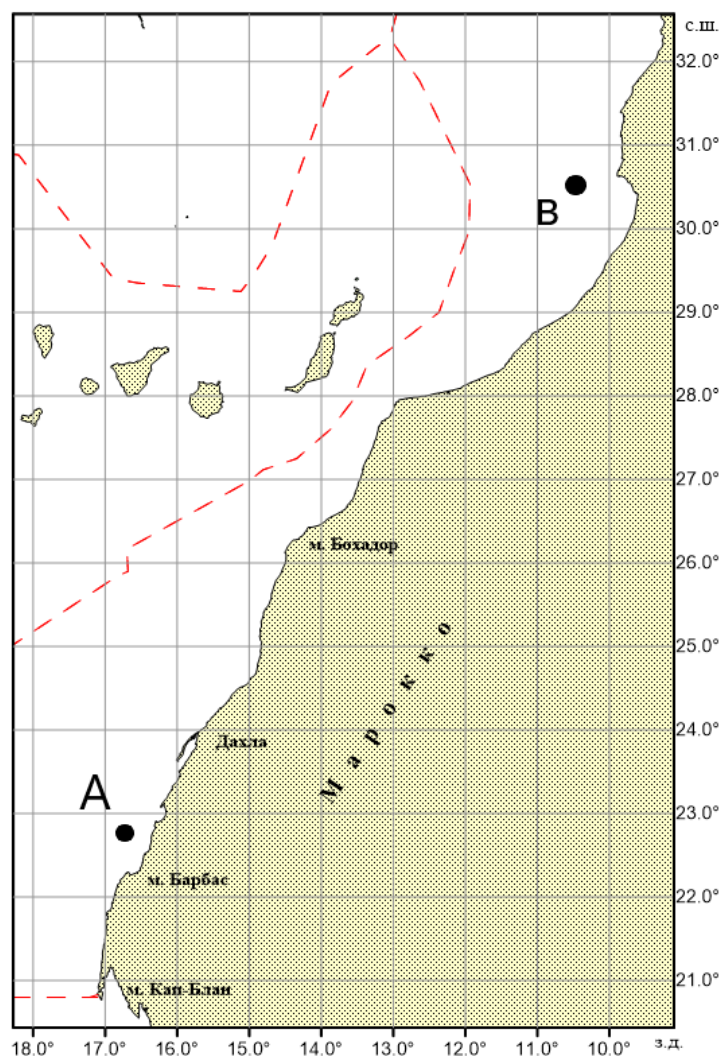


Рисунок 3.7 – Схема расположений точек очагов апвеллинга у побережья Марокко (2016-2021 гг.)

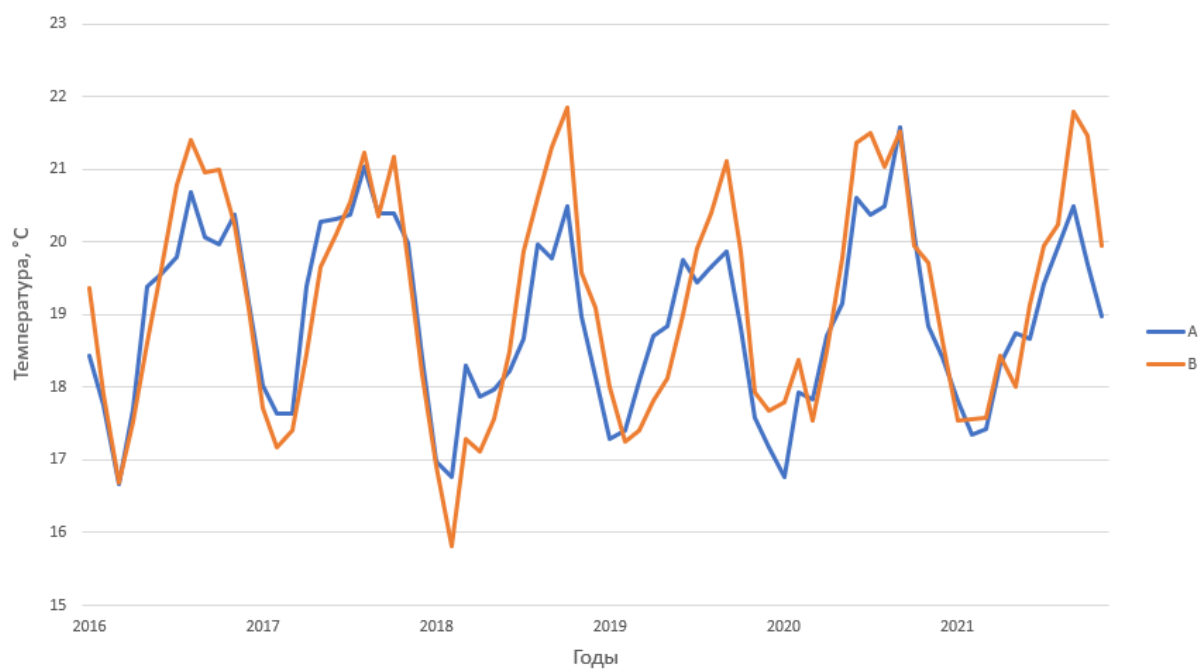


Рисунок 3.8 – График средних значений ТПО в очагах апвеллинга у побережья Марокко за 2016-2021 гг.

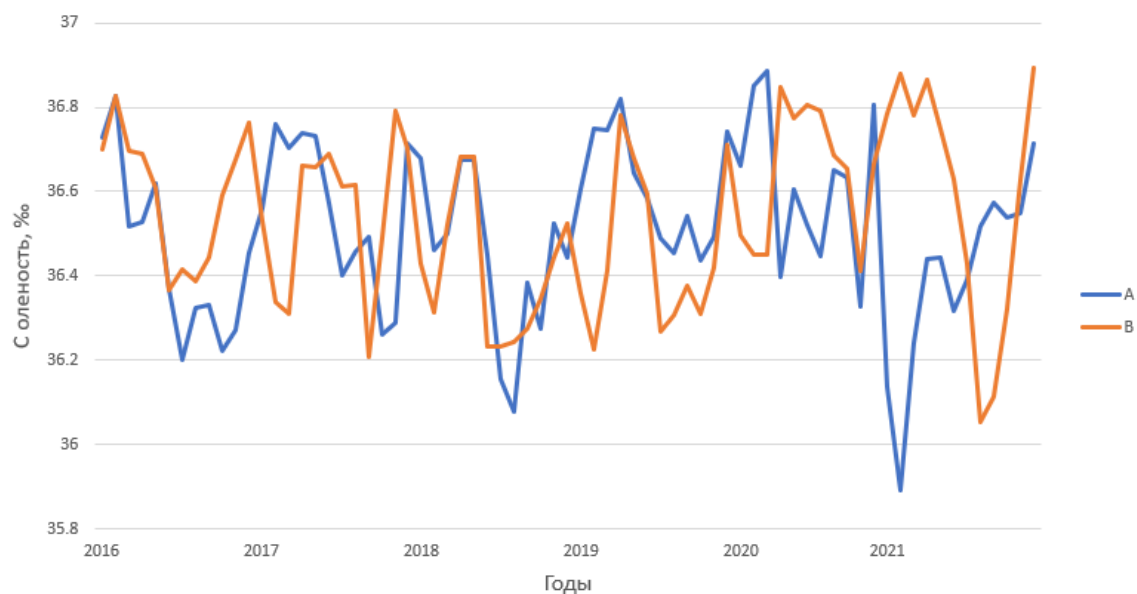


Рисунок 3.9–График средних значений солености в очагах апвеллинга у побережья Марокко за 2016-2021 гг.

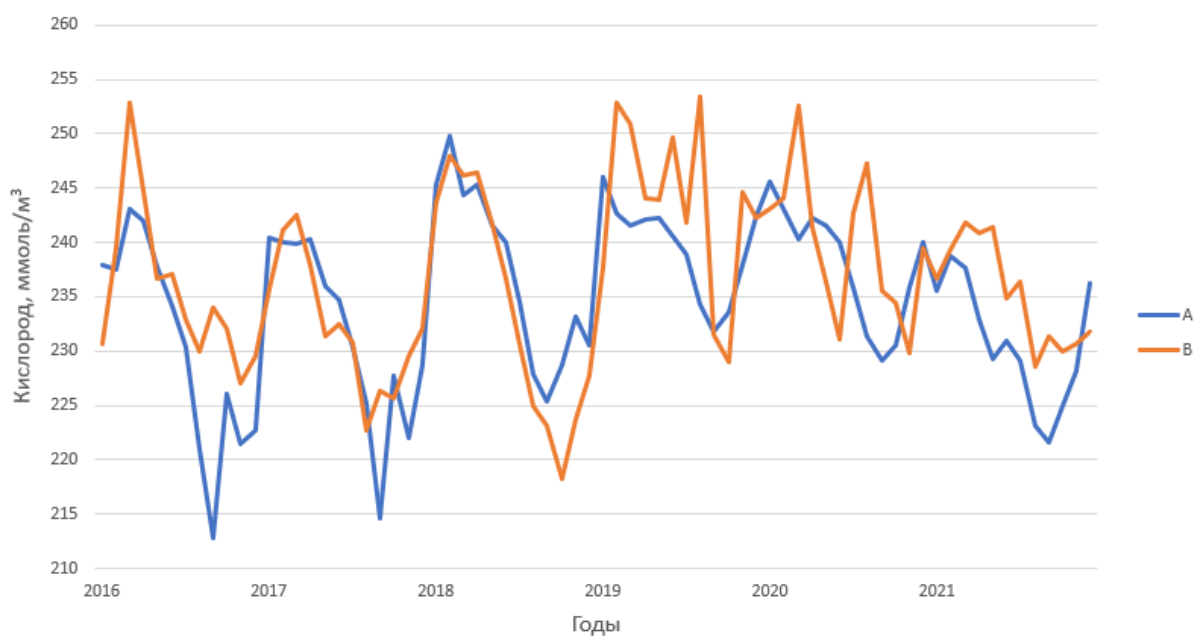


Рисунок 3.10–График средних значений концентрации растворенного кислорода в очагах апвеллинга у побережья Марокко за 2016-2021 гг.

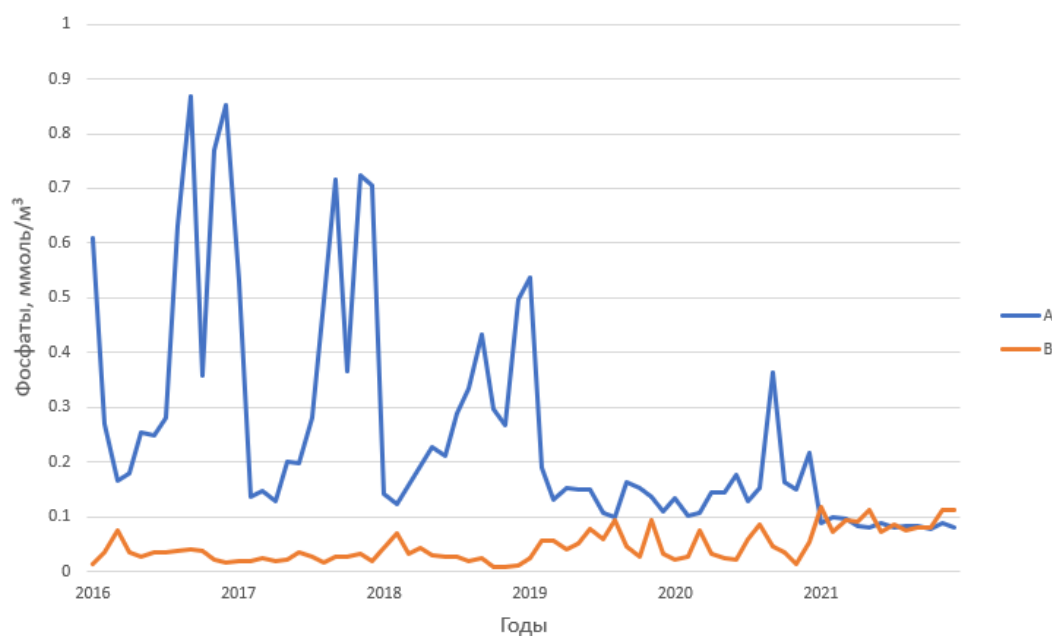


Рисунок 3.11–График средних значений концентрации минерального фосфора в очагах апвеллинга у побережья Марокко за 2016-2021 гг.

По графикам видно, что значения температур воды в точке А и В ведут себя абсолютно синхронно. Соленость в узлах А и В имеет одно значительное отличие в 2021 году. Значения растворенного кислорода практически полностью согласуются. А вот распределение минерального фосфора в очагах апвеллинга крайне неоднородно. В точке А, находящейся на юге побережья, высокая концентрация фосфатов и видно, что с каждым годом она уменьшается. В точке В, находящейся на северо-востоке, концентрация на порядок меньше, но при этом с 2019 года значения растут.

После того как были получены кластеры по температуре воды, они были сопоставлены с данными по улову. Результаты данного сравнения представлены на рисунке 3.12.

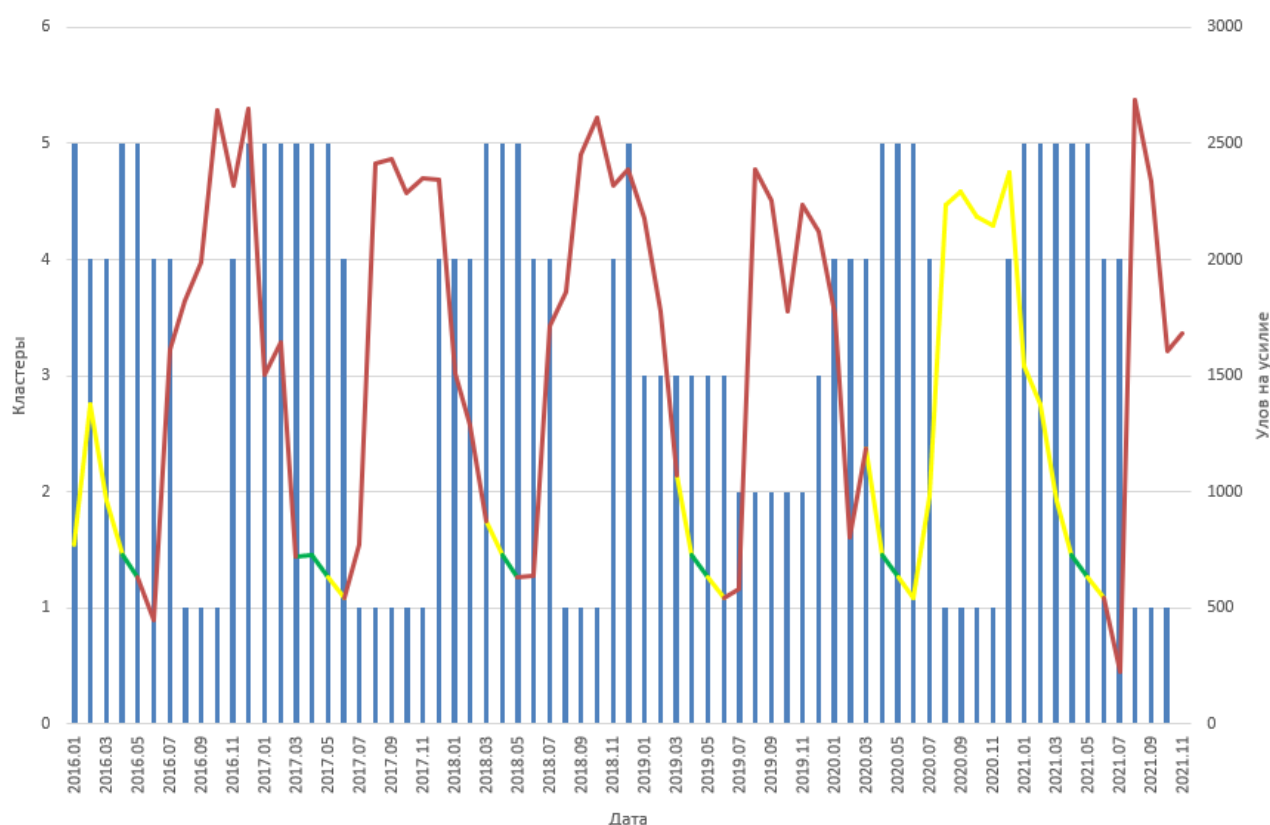


Рисунок 3.12 – Сопоставление диаграммы распределения кластеров и улова на усилие для исследуемого района промысла – побережье Марокко.

На рисунке 3.12 красным цветом представлены значения улова на усилие, данные, которые у нас были; желтым – те значения, которые отсутствовали, но были восстановлены путем осреднения имеющихся значений за этот период; зеленым – предполагаемые значения улова, которые могли бы быть (но это предположение, так как данных за апрель и май 2016-2021 года не было). Полученные результаты отображены в таблице 9 (обозначения цветов см. выше).

Таблица 9. Улов на усилие при промысле российскими судами у побережья Марокко. 2016–2021 гг.

Улов на усилие												
Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	769	1377	963	725	634	446	1614	1823	1990	2644	2319	2651
2017	1503	1645	723	725	634	542	771	2412	2430	2285	2353	2342
2018	1507	1288	874	725	634	639	1713	1861	2451	2610	2319	2387
2019	2180	1774	1070	725	634	542	583	2390	2254	1776	2237	2124
2020	1762	801	1184	725	634	542	981	2234	2292	2184	2148	2376
2021	1544	1377	963	725	634	542	223	2685	2336	1605	1683	2376

По диаграмме также прослеживается четкая структура изменения кластеров по годам, причем далеко не в каждом их них присутствуют все типы кластеров. Максимальные значения улова на усилие практически во всех случаях соответствуют первому типу, в то время как к четвертому чаще всего происходит уменьшение вылова.

3.3. Пространственное распределение гидрохимических характеристик для кластеров, выделенных по температуре воды

К имеющимся кластерам, выделенным по значениям и пространственному распределению температуры воды, были добавлены данные о концентрациях растворенного кислорода и минерального фосфора, чтобы

проследить, как химические показатели соотносятся с данными по вылову. Также по гидрохимическим данным была сделана описательная статистика (Таблица 10 – 11). После того как значения были собраны в массивы в соответствии с выделенными кластерами, для них в программе «Surfer» [21] были построены типовые карты пространственного распределения данных характеристик для визуализации результатов (Рисунок 3.13).

По таблицам 10 и 11 видно, что для выделенных кластеров концентрации растворенного кислорода значимо различаются. Особенно заметны отличия между их средними значениями и стандартным отклонением, что позволяет судить о принадлежности к определенному кластеру. Для первого и второго кластера характерны самые низкие концентрации (221.25 и 224.46 ммоль/м³ соответственно), для третьего и пятого – самые высокие (235.61 и 234.30 ммоль/м³ соответственно) и четвертый имеет значение 230.75 ммоль/м³. Прослеживаются различия между выделенными кластерами и для концентрации минерального фосфора, но не так явно, как по содержанию кислорода. Наиболее отличающимся по среднему значению является второй кластер, его значение равно 0.09 ммоль/м³, в то время как у других кластеров 0.11–0.12 ммоль/м³. По стандартному отклонению заметное различие находится в пятом кластере, оно составило 0.17, у остальных – 0.20–0.22.

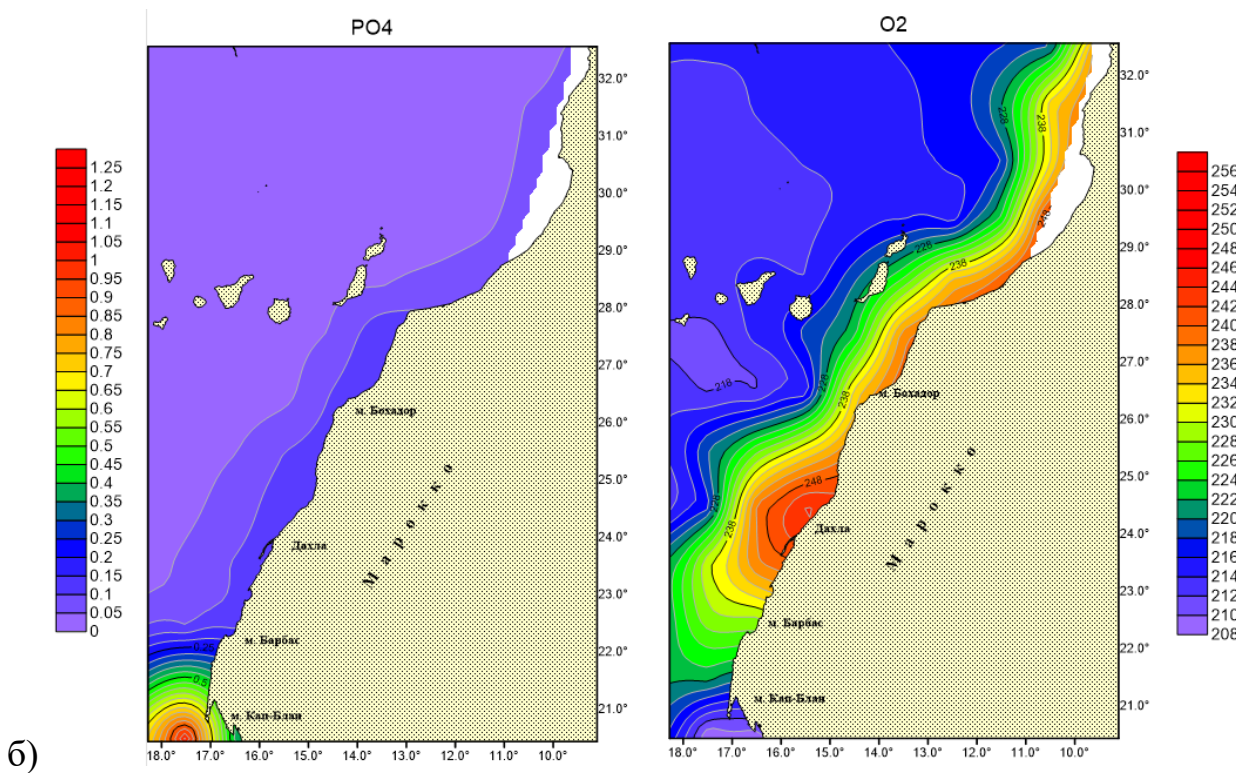
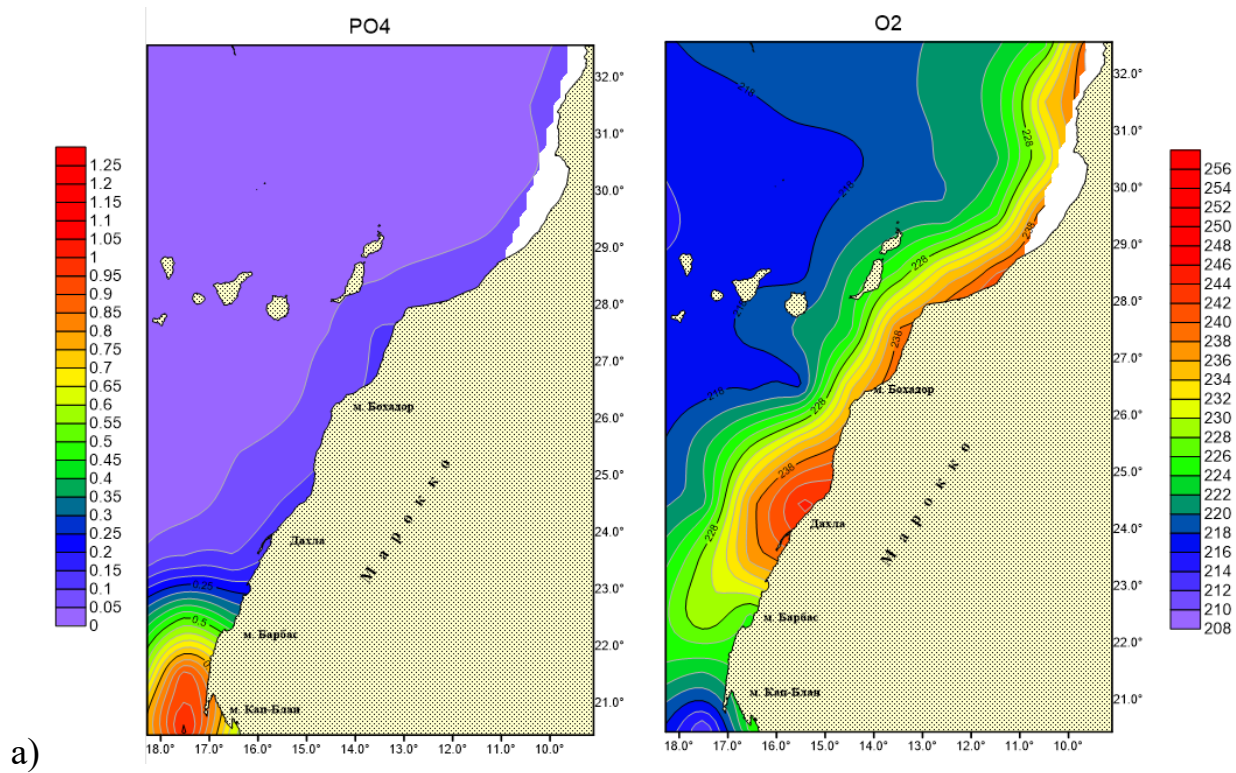
По рисунку 3.13 мы видим, что зона максимальных концентраций минерального фосфора расположена на юге побережья там, где находится очаг Канарского апвеллинга, благодаря которому с холодными водами поступают фосфаты. При сопоставлении данных за первый кластер можно увидеть, что увеличение площади этой зоны соответствует самому большому улову, и всегда находятся южнее 23 °с.ш. Максимальные значения содержания растворенного кислорода находятся вдоль побережья узкой полосой, наибольшие значения концентрации наблюдаются в основном между 23° и 25°с.ш. При удалении от берега содержание кислорода уменьшается. Основные районы промысла расположены вдоль побережья Марокко, в той же зоне, где и наиболее выраженные показатели растворенного кислорода.

Таблица 10. Описательная статистика для каждого кластера по растворенному кислороду.

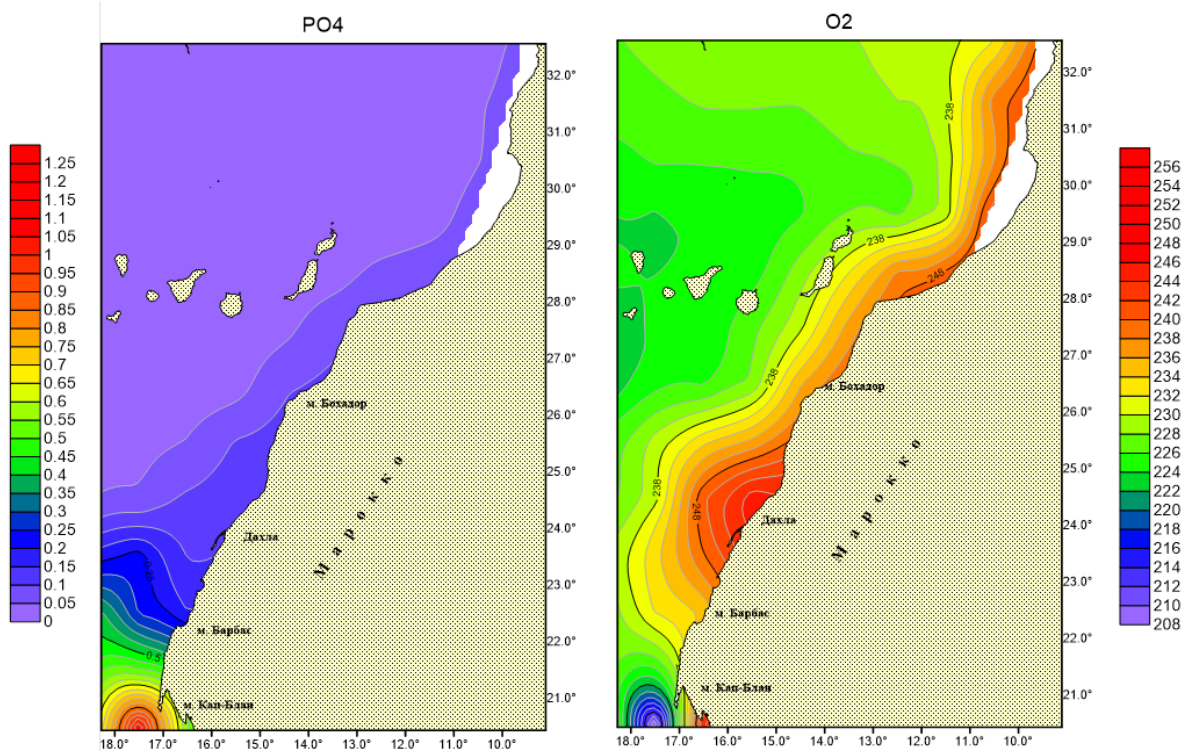
Характеристика	Кластеры				
	1	2	3	4	5
Среднее	221.25	224.46	235.61	230.75	234.30
Стандартная ошибка	0.68	0.85	0.63	0.55	0.47
Стандартное отклонение	6.86	8.63	6.36	5.55	4.78
Дисперсия выборки	47.12	74.45	40.51	30.76	22.84
Размах	36.13	37.83	43.65	30.02	32.34
Минимум	208.29	214.41	211.44	219.64	216.08
Максимум	244.42	252.23	255.10	249.65	248.42

Таблица 11. Описательная статистика для каждого кластера по минеральному фосфору.

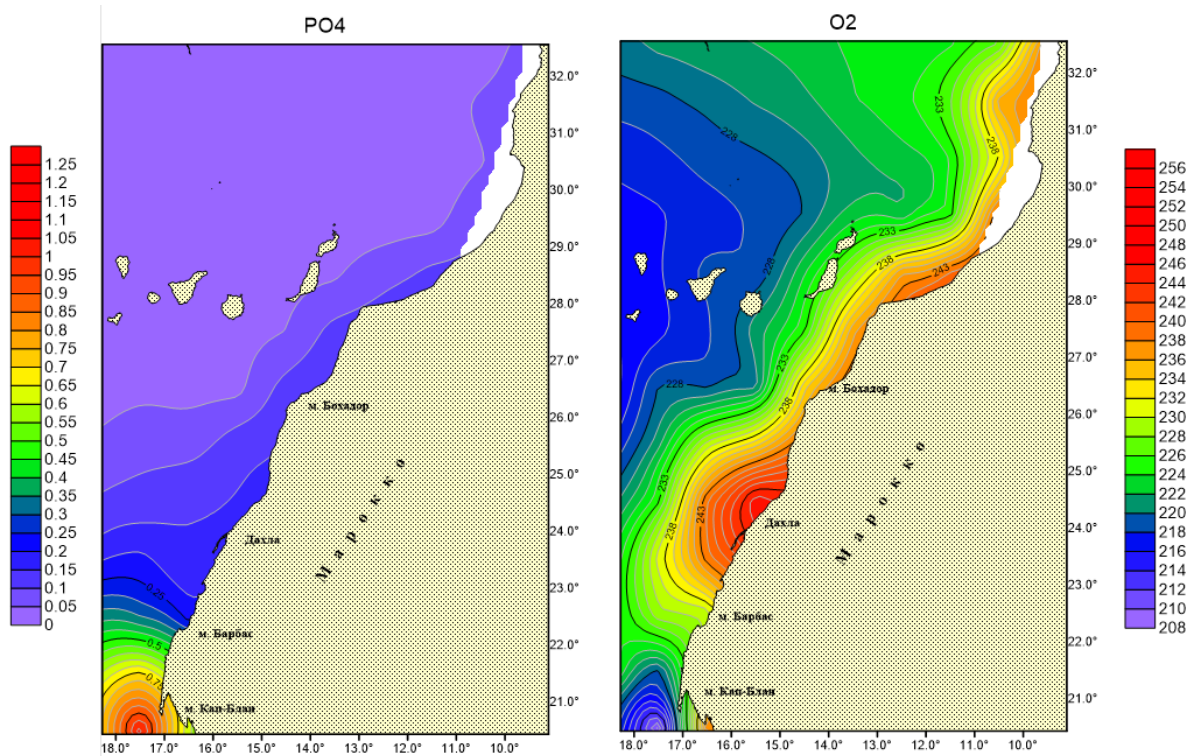
Характеристика	Кластеры				
	1	2	3	4	5
Среднее	0.11	0.09	0.12	0.12	0.11
Стандартная ошибка	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Стандартное отклонение	0.20	0.20	0.22	0.21	0.17
Дисперсия выборки	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03
Размах	1.01	1.17	1.25	1.12	0.93
Минимум	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02
Максимум	1.02	1.17	1.26	1.13	0.96



В)



Г)



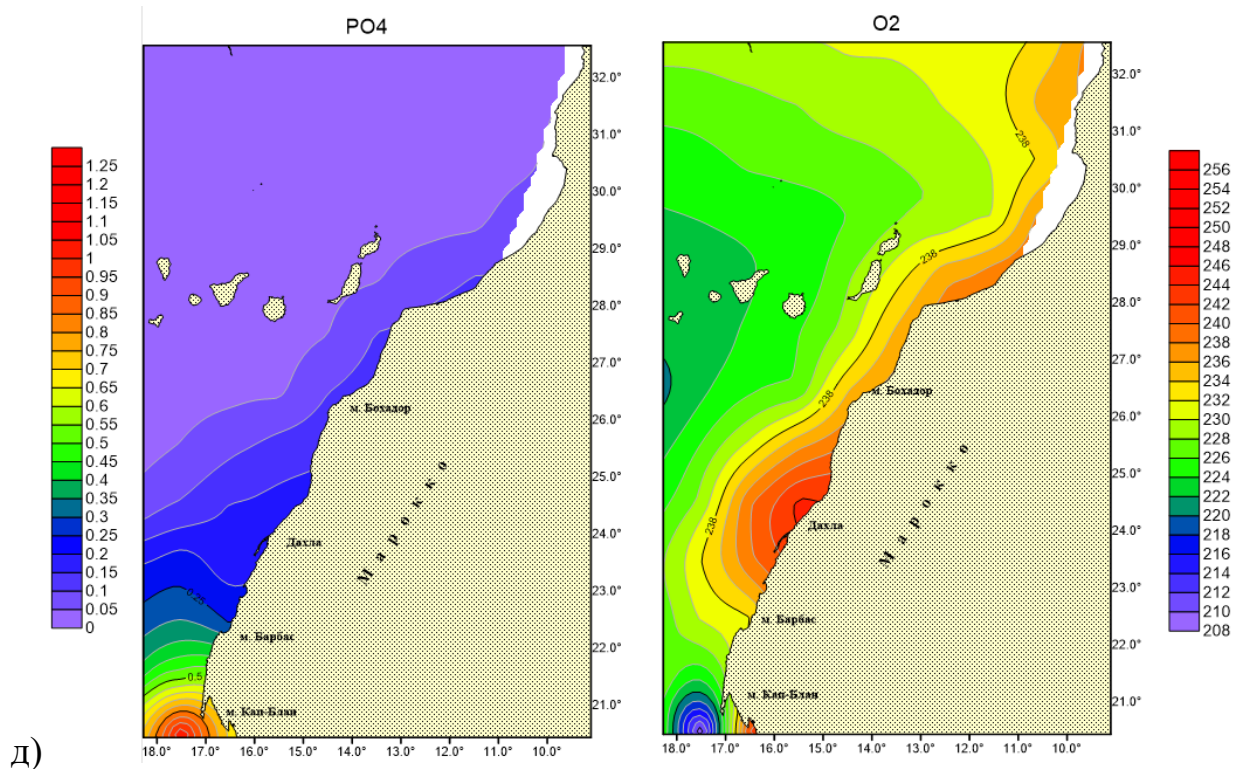


Рисунок 3.13—Пространственное распределение минерального фосфора и растворенного кислорода у побережья Марокко: а— 1 кластер, б — 2 кластер, в — 3 кластер, г — 4 кластер, д — 5 кластер.

Заключение

В результате проведенного исследования межгодовой изменчивости океанографических условий в зоне промысла у побережья Марокко можно сделать следующие выводы:

- в рассматриваемой зоне промысла имеют место существенные изменения океанографических условий в течение нескольких лет.
- важнейшим параметром, влияющими на промысловую деятельность в данном регионе, являются температура воды. Соленость, как показало исследование, не является влияющим фактором.
- статистический анализ данных показал, что за последние 6 лет температура поверхности океана увеличилась, при этом концентрация гидрохимических характеристик, таких как растворенный кислород (O_2) и минеральный фосфор (PO_4) значительно уменьшилась. Соленость ведет себя более стабильно в отличие от других характеристик, но при этом наблюдается динамика ее незначительного увеличения;
- для выделенных 5 кластеров пространственного распределения температуры воды получены типовые распределения гидрологических и гидрохимических характеристик;
- показано, что чередование типовых гидрологических и гидрохимических условий в течение года может значительно нарушаться, как это было в 2019 году. При этом были зафиксированы самые низкие уловы на усилие за исследованный период;
- следует особо отметить, что с 2019 года прослеживается существенное снижение концентрации минерального фосфора в очаге апвеллинга в юго-западной части исследуемой зоны промысла и уменьшение внутригодовой амплитуды изменения содержания кислорода.

Таким образом, результаты исследования подтверждают актуальность изучения межгодовой изменчивости океанографических условий в районе

промысла у побережья Марокко и могут быть использованы для принятия мер по улучшению предсказуемости последствий изменения климатических условий в этом регионе и повышению эффективности промысла.

Список использованной литературы

1. Rykaczewski Lab Ecosystem Oceanography and Climate Change – электронный источник.–Режим доступа: http://rykocean.com/ryk_research.html – Дата последнего обращения – 15.05.2023
2. Артамонова А.В. Влияние океанологических факторов на годовой жизненный цикл популяции рыб в зоне Канарского апвеллинга. – Санкт-Петербург, РГГМУ, 2017. – 17 с.
3. Духова Л.А. Гидрохимическая структура и формирование биологической продуктивности вод в районе Канарского апвеллинга: автореф. дис. канд. геогр. наук. – Калининград: Российский государственный университет им. И. Канта, 2010.– 22 с.
4. Лидванов В.В, Мезозоопланктон в районе Канарского апвеллинга. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук – Санкт-Петербург: ФГБУН ЗИ РАН, 2014.–213 с.
5. Чернышков П.П., Сирота А.М., Тимохин Е.Н. Структура и динамика вод Канарского и Бенгельского апвеллингов в Атлантическом океане и их влияние на популяции пелагических рыб.– Калининград: АтлантНИРО, 2005. –198 с.
6. Roy C., Cury P. Decadal environmental and ecological changes in the Canary Current Large Marine Ecosystem and adjacent waters: Patterns of connections and teleconnections – Large Marine Ecosystems of the World - trends in exploitation, protection and research. Eds. G. Hempel and K. Sherman. – Large Marine Ecosystems series Blackwell Science: MaldenUSA.–2003. –P. 255-277.
7. Серебренников А.Н. Методика пространственного разделения апвеллинга по характеру сезонной изменчивости.–Севастополь:Институт природно-технических систем РАН, 2019.– 12 с.
8. Глеза И.Л. Исследование термохалинной структуры и биопродуктивности вод Канарского апвеллинга с использованием

геоинформационных технологий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук – Калининград, 2007.– 14 с.

9. Центрально-Восточная Атлантика (ЦВА). – StudFiles– электронный источник. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7236122/page:40/>. – Дата последнего обращения – 02.05.2023.

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

11. Copernicus Marine My Jcoan Viewer. –GlobalOceanPhysicsReanalysis– электронный источник. – Режим доступа: https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030/download– Скачать данные – Дата последнего обращения – 01.06.2023.

12. Copernicus Marine My Jcoan Viewer. – GlobalOceanBiogeochemistryAnalysisandForecast. – электронный источник. – Режим доступа: https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_BIO_001_028/download. – Скачать данные – Дата последнего обращения – 01.06.2023.

13. Стафикопуло А.М., Горбатюк Я. И. Промысловая нагрузка судов различной мощности при траловом промысле хамсы в Азово-Черноморском бассейне в 2017 г. – Керчь: Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Керченский филиал. – 2018. – 52 с.

14. Трещев А.И., Степанов Г.Н., Карпенко Э.А., Беляева Л.А., Горелов П.А. О некоторых параметрах рыболовства. – электронный источник. – Режим доступа: <http://dspace.vniro.ru/bitstream/handle/123456789/6484/Treschev%2C%20Stepanov%2C%20Karpenko%20and.pdf?sequence=1> – Дата последнего обращения – 28.05.2023 – 11 с.

15. Григорьев О.В., Мельников К.А. Новая классификация промыслового усилия как мера воздействия на запасы и управления запасами.— Вестник АГТУ.— 2007.— № 6 (41).— С. 157–163.
16. МельниковА. В,МельниковВ. Н Улов на усилие и улавливаемость как относительные показатели промыслового усилия – Вестник АГТУ. – Сер.: Рыбное хозяйство. – № 1. – 2011. – 36 с.
17. OziExplorer – электронный источник – Режим доступа: <https://oziexplorer.ru/> – Скачать программу – Дата последнего обращения – 02.06.2023.
18. Вйновский П.А., Малинин В.Н. Методы обработки и анализа океанологической информации. Многомерный анализ.— СПб: РГГМИ, 1992. – 96 с.
19. Сошникова Л.А., Тамашевич В.Н., Уебе Г., Шефер М. Многомерный статистический анализ в экономике.— М.:ЮНИТИ-ДАНА, 1999.— 598 с.
20. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации» – Санкт-Петербург, РГГМУ, 2017. – 19 с.
21. Surfer – электронный источник – Режим доступа: <https://iowin.net/ru/surfer/>– Скачать программу – Дата последнего обращения – 02.06.2023.