



Директор ТОИ ДВО РАН

д.ф.-м.н.

Д.В. Макаров

«05» ноября 2025 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва

Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН)

на диссертационную работу

Мартина Васкез Джимми Хуана

на тему

«Изменчивость абиотических характеристик Перуанского апвеллинга

и их влияние на популяцию анчоусов»,

представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук

по специальности 1.6.17. Океанология (географические науки)

Актуальность. Диссертация Мартина Васкез Джимми Хуана посвящена исследованию абиотических факторов, воздействующих на популяцию анчоусов в районе Перуанского апвеллинга – одного из самых продуктивных рыбопромысловых районов Мирового океана, а анчоусы являются наиболее важным видом, поддерживающим пищевую цепь, и основным объектом промысла в Перу. Основными абиотическими факторами, влияющими на биоту этого района, являются температура верхнего слоя океана, представимая температурой поверхности океана (ТПО), и интенсивность апвеллинга, изменчивость которых рассматривается в работе, что обуславливает ее актуальность. Несмотря на то, что изменчивость ТПО в этом районе уже обсуждалась в ранее выполненных работах, систематический анализ с использованием наиболее полных данных на основе методов многомерного анализа, позволяющих выявлять основные факторы изменчивости, является актуальной задачей. Интенсив-

ность апвеллинга оценивалась с помощью индекса, позволяющего учесть поток массы на нижней границе слоя Экмана, чего ранее для Перуанского апвеллинга не делалось.

Целью работы является исследование основных абиотических факторов, определяющих биопродуктивность района Перуанского апвеллинга – температуры и интенсивности апвеллинга, а также построение статистических моделей вылова преобладающего промыслового вида (анчоуса) и оценка успешности прогноза. Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- 1) создание базы данных по ТПО и скорости ветра на основе многократно апробированных и широко применяемых баз GODAS и NCEP/DOE;
- 2) анализ линейных трендов ТПО;
- 3) районирование исследуемой акватории по характеру межгодовой изменчивости ТПО методами факторного анализа и автоматической классификации;
- 4) оценка интегрального индекса апвеллинга и исследование его пространственно-временной изменчивости;
- 5) построение статистических моделей вылова анчоуса в зависимости от ТПО и индекса апвеллинга и оценка их прогностических возможностей.

Научная новизна. В работе получен ряд новых научных результатов, наиболее важными из которых являются следующие:

- 1) По наиболее полным данным выполнена оценка величины линейных трендов ТПО в районе Перуанского апвеллинга, которые, в отличие от преобладающей в Мировом океане тенденции роста ТПО, отрицательны и максимальны по абсолютной величине в узкой прибрежной полосе северной части района. Впервые высказано обоснованное предположение о роли усиления холодного Перуанского течения в понижении ТПО.
- 2) Впервые выполнено районирование Перуанского апвеллинга по межгодовой изменчивости ТПО с помощью факторного и кластерного анализа. Выделено 4 района и показано, что наибольшая межгодовая изменчивость ТПО имеет место в северном районе, наименьшая – в южном. По статистическим свойствам определены центры районов с наиболее типичными характеристиками, которые далее используются в прогностических моделях.
- 3) Впервые оценен интегральный индекс апвеллинга, учитывающий вертикальный поток массы на глубине трения (экмановской глубине), и исследована пространственно-временная изменчивость этого индекса. Показано, что межгодовая изменчивость

максимальна в северной части района, минимальна – на крайнем юге. На большей части изучаемой акватории отмечаются положительные тренды индекса, т.е. усиление апвеллинга.

- 4) Впервые построены основанные на множественной линейной регрессии и деревьях решений модели вылова анчоуса, где в качестве предикторов используются индекс апвеллинга и ТПО, и оценены их прогностические возможности.

Научная и практическая значимость. Научная значимость результатов состоит в том, что впервые проведен комплексный анализ двух главных абиотических факторов (ТПО и индекса апвеллинга), оценена их взаимосвязь и построены статистические модели взаимосвязи с ними численности популяции анчоуса. Практическая значимость заключается в возможности использования этих статистических моделей для прогноза популяции анчоуса и оценки промысловых возможностей.

Обоснованность и достоверность результатов обеспечивается использованием современных архивов многолетних данных и грамотным применением современных статистических методов, в том числе факторного и кластерного анализа, а также статистических моделей. Полученные результаты существенно дополняют имеющиеся представления об изменчивости абиотических факторов, влияющих на биоту района Перуанского апвеллинга.

Апробация работы. Результаты работы опубликованы в 3 статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК, из них две статьи в журнале, входящем в Белый список. Эти публикации полностью отражают содержание работы. Было сделано 4 доклада на научных конференциях. Личный вклад соискателя подтверждается тем, что он является первым автором во всех статьях и в 3 докладах на конференциях.

Структура и содержание диссертации. Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы, состоящего из 213 источников, подавляющее большинство которых принадлежит зарубежным авторам, поскольку в отечественной литературе публикации по Перуанскому апвеллингу почти отсутствуют.

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, с подробным обсуждением важности рыболовства для экономики Перу и анчоуса как основного промыслового вида этого высокопродуктивного района. Сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные научные результаты и положения, выносимые на защиту, и обоснована их достоверность и соответствие работы паспорту специальности 1.6.17 – Океанология. Определен личный вклад автора, перечислены

опубликованные статьи и доклады на научных конференциях, где были представлены результаты работы.

Первая глава носит обзорный характер, здесь дана физико-географическая характеристика района исследования, обсуждается изученность Перуанского апвеллинга и его значение для экономики Перу, дано описание анчоуса как основного промыслового ресурса района.

Вторая глава посвящена используемым в работе данным и применяемым статистическим методам. Район исследования находится в зоне от 4° до 40° ю.ш., и простирается от берега в открытый океан на 360 миль. Для оценки биомассы анчоуса использовались данные об уловах от Перуанского морского института за период 1996-2020 гг. Данные о ТПО брались из базы данных GODAS с разрешением 1° по широте и долготе за период 1980—2020 гг. Зональные и меридиональные составляющие скорости приводного ветра брались по данным реанализа NCEP/DOE AMIP-II с разрешением около 2° по широте и долготе за период 1980—2020 гг.

Обсуждаются применяемые для анализа статистические методы, в том числе многомерные (разложение по ЭОФ и кластерный анализ), а также статистические модели, основанные на множественной линейной регрессии и деревьях решений.

Третья глава посвящена колебаниям ТПО на масштабах больше года. В начале главы дан обстоятельный обзор влияния температуры среды на биоту Перуанского апвеллинга и подчеркивается важность температурного оптимума для жизнедеятельности морских организмов на разных стадиях их развития. Затем обсуждаются полученные в работе долгосрочные тенденции ТПО. Установлено, что отрицательные тренды значимы практически во всем исследуемом районе, являясь наиболее сильными в узкой прибрежной полосе океана в северной части акватории между 6° и 16° ю.ш. Обсуждаются тренды для месяцев года и показано, что они отрицательны в течение всего года, являясь наиболее сильными в феврале – мае. Положительные тренды, т.е. потепление занимают малую часть площади района, они весьма слабы даже в период своего максимального развития летом южного полушария (декабрь – февраль). Обсуждаются возможные причины отрицательных трендов ТПО, с их кажущимся противоречием преобладающей в Мировом океане тенденции потепления. Помимо обсуждения известного фактора – интенсификации апвеллинга, высказывается предположение о влиянии усиления холодного Перуанского течения, ответвляющегося от Антарктического циркумполярного течения, в свою очередь усиливающегося за счет интенсификации зональной циркуляции атмосферы во внетропических широтах южного полушария.

Далее дается краткий обзор многомерных статистических методов (разложение по эмпирическим ортогональным функциям и вращение полученных мод, а также кластерный анализ), а затем обсуждаются полученные этими методами результаты. По среднегодовой ТПО выделены 3 главные компоненты, учитывающие более 80% дисперсии поля и на их основе проведена автоматическая классификация методом к-средних. В результате получены 4 связанных по акватории района, ориентированные с севера на юг, с различным характером межгодовой изменчивости ТПО, в которых выделены узлы сетки, оптимальным образом описывающие характеристики ТПО в каждом районе. Обсуждается влияние явления Эль-Ниньо, как глобального, так и прибрежного, на Перуанский апвеллинг.

В четвертой главе обсуждается изменчивость Перуанского апвеллинга, оцененная с помощью интегрального индекса апвеллинга, введенного В.Н. Малининым, но ранее не применявшимся для этого района. Индекс Малинина позволяет косвенно учитывать вертикальный поток массы на нижней границе слоя трения (экмановского слоя), а расчет основан на оценке дивергенции горизонтального потока массы в верхнем слое, которая, в свою очередь определяется экмановским дрейфом, зависящим от ветра. В главе подробно обсуждаются теоретические и методические основы расчета индекса и произведен расчет для 11 узлов, упорядоченных с севера на юг, для которых также рассчитана глубина трения (экмановская глубина). Оценен средний годовой ход этих параметров: индекс апвеллинга достигает максимума в июне, минимума в феврале, что соответствует сезонным изменениям силы ветра, глубина трения максимальна в ноябре и минимальна в марте – мае. В многолетнем плане показано наличие положительного линейного тренда индекса апвеллинга в большей части района, т.е. в целом апвеллинг усиливается. Как и ожидалось, статистическая взаимосвязь между индексом апвеллинга и ТПО на большей части акватории отрицательна, т.е. при возрастании потока нижележащих холодных вод к поверхности ТПО уменьшается. Установлена многолетняя тенденция к увеличению глубины трения в центральной части исследуемого района. Показано наличие отрицательной статистической взаимосвязи между глубиной трения и индексом апвеллинга: при уменьшении глубины трения вертикальная скорость воды на ее нижней границе увеличивается, а апвеллинг усиливается.

Пятая глава посвящена статистическому моделированию и прогнозу вылова анчоуса. Обсуждается классификация морских прогнозов и проблема выбора предикторов для статистических моделей. Представлена модель долгосрочного прогноза среднегодового вылова анчоуса, основанная на множественной линейной регрессии, в качестве предикторов которой выбраны значения индекса апвеллинга и ТПО в некоторых из ранее выделенных районов.

Выполнена оценка прогностических возможностей модели по зависимой (1996-2016 гг.) и условно независимой (2017-2020 гг.) выборкам, которая показала высокую близость прогнозных значений за 2017-2020 гг. к фактическим. Вместе с тем, прогноз на 2021-2024 гг. показал значительные расхождения между прогнозируемыми и фактическими оценками вылова, что, по-видимому, связано с сильным явлением Эль-Ниньо 2023-2024 гг., отрицательное влияние которого на популяцию анчоуса было переоценено моделью. Другая разработанная прогностическая модель основана на методе деревьев решений; ее проверка проводилась аналогично регрессионной модели. Эта модель дала вполне разумные результаты для независимой выборки 2021-2024 гг., включая период Эль-Ниньо, когда анчоус приспособлялся к изменениям условий среды путем миграции в более благоприятные районы, что позволило сохранить часть популяции. Это обстоятельство показало преимущество модели «деревья решений» перед регрессионной.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Замечания. В работе имеются некоторые недостатки.

1. Недостаточно подробное обсуждение предикторов прогностической модели множественной регрессии и значений параметров решающих правил в модели «деревья решений» в главе 5.
2. Ввиду узости района исследования по широте следовало бы применить данные о ветре из реанализа с более высоким пространственным разрешением.
3. Помимо формального статистического прогноза нужна содержательная гипотеза о причинах изменений улова.
4. Неудачная формулировка пункта 4 научной новизны: «Показано сильное влияние явления Эль-Ниньо на систему Перуанского апвеллинга». Это известный факт, новыми можно считать полученные количественные оценки изменений ТПО и индекса апвеллинга по районам, на которые автор разделил систему апвеллинга.
5. В некоторых формулах описаны не все входящие в них переменные.
6. Опечатка на стр. 101, 2-й абзац, строки 4-6: «С увеличением глубины вектор течения по абсолютной величине уменьшается по экспоненциальному закону, а по направлению все больше поворачивает **вправо.**» В южном полушарии поворот происходит влево, а не вправо, как это и написано выше, во 2-й строке этого абзаца.

Заключительная часть.

Отмеченные недостатки не снижают значимости диссертационной работы, в которой проведено разностороннее исследование межгодовой изменчивости двух главных абиотиче-

ских факторов, определяющих биопродуктивность района Перуанского апвеллинга – ТПО и интенсивности апвеллинга. Выполнена оценка линейных трендов ТПО, высказаны обоснованные предположения о причинах тенденции понижения температуры в системе апвеллинга, выделено 4 района с разным характером изменений ТПО. Выявлена изменчивость индекса апвеллинга по акватории и во времени в многолетнем плане. На этой основе построены две статистические модели вылова анчоуса и оценены их прогностические возможности.

Таким образом, диссертационная работа Мартина Васкез Дж.Х. «Изменчивость абиотических характеристик Перуанского апвеллинга и их влияние на популяцию анчоусов» представляет собой законченное научное исследование, в котором содержится новое решение актуальных задач, важных в научном и практическом планах. Работа соответствует требованиям пп. 9-14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней». Соискатель, Мартина Васкез Джимми Хуан, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата географических наук по научной специальности 1.6.17. Океанология.

Диссертация обсуждалась на заседании Океанологического семинара ТОИ ДВО РАН 5 ноября 2025 г. (протокол № 8), отзыв утверждён на заседании Океанологического семинара 13 ноября 2025 г. (протокол № 9).

Отзыв составила:

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории физической океанологии ТОИ ДВО РАН Трусенкова Ольга Олеговна.

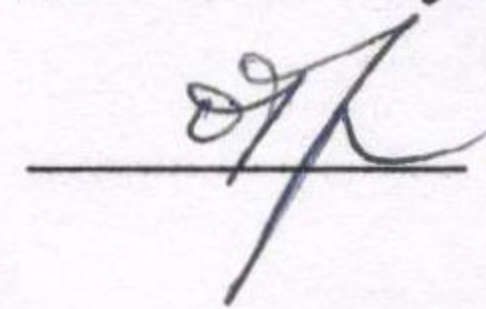
13 ноября 2025 г.



Трусенкова О.О.

Я, Трусенкова Ольга Олеговна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

14 ноября 2025 г.



Сведения об организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Фактический адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43.

Тел.: +7 (423) 231-1400. Сайт: www.poi.dvo.ru.



Подпись Трусенковой О.О.
Исполнительный секретарь ТОИ ДВО РАН
к. т. н. Клещева Т.И. в-