

№ _____ от _____



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
Ложкина Дмитрия Михайловича
**«ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПОВЕРХНОСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ ПО
ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕАНАЛИЗА ERA5»,**
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросфера.

Актуальность. Диссертация Ложкина Дмитрия Михайловича посвящена пространственно-временной изменчивости температуры поверхности (ТПО) Охотского моря и прилегающих к нему акваторий – северной части Японского моря и тихоокеанского района вблизи юго-восточной Камчатки, Курильских о-вов и о-ва Хоккайдо. Эти акватории динамически соединены с Охотским морем за счет водообмена через Курильские проливы и пролив Лаперуза, что оказывает влияние на термический режим моря. Поступающие через проливы северных Курил тихоокеанские воды отепляют восточную часть моря, воды теплого течения Соя – юго-западные районы. Сток холодных вод Охотского моря в Тихий океан вносит существенный вклад в формирование течения Ойясио.

Район исследования находится в зоне уверенного приема спутниковой станции СахНИРО, а спутник данные позволяют исследовать изменчивость ТПО на всей акватории Охотского моря, а не только в прибрежных или отдельных районах, что обуславливает актуальность выполненной работы, особенно с учетом того, что объем судовых исследований постоянно сокращается. Регулярный характер спутниковых данных, а также длительный срок измерений (1998–2020 гг., т.е. 23 года) дает возможность выявления устойчивых, статистически значимых закономерностей.

В работе, помимо термического режима моря в целом, исследованы его особенности в ареалах водных биологических объектов, изучение запаса которых актуально с **практической точки зрения**, поскольку вариации термического режима, в особенности заметные отклонения от средних значений, могут оказывать значительное влияние на пелагических рыб и иных гидробионтов, в том числе на ранних стадиях их развития.

Целью работы является анализ пространственно-временной изменчивости ТПО Охотского моря и прилегающих акваторий на масштабах от сезонного до долгосрочных однонаправленных тенденций, а также связей с определяющими ее факторами – результирующим потоком коротковолновой солнечной радиации через поверхность моря и приземным давлением, влияющим опосредовано через изменения атмосферной циркуляции. Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- 1) сформирована база данных, включающая ТПО по спутниковым измерениям и полям, доступным в рамках реанализа ERA 5, поля солнечной радиации и приземного атмосферного давления по данным реанализа ERA 5 за период 1998–2020 гг.;
- 2) разработано программное обеспечение для работы с созданной базой данных, расчета и визуализации статистических параметров;
- 3) обработан большой объем материала, выполнены расчеты, визуализированы результаты и дана физическая интерпретация полученным статистическим закономерностям;
- 4) проанализированы изменения термических условий среды обитания различных видов промысловых рыб и беспозвоночных.

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

- 1) на основе гармонического анализа и разложения на эмпирические ортогональные функции (ЭОФ) установлено, что в северо-западной части моря происходят наиболее ранние прогрев и охлаждение поверхности Охотского моря, и эти изменения распространяются на юго-восток до южной границы исследуемого района за срок около месяца;

- 2) на основе гармонического анализа и разложения на ЭОФ выявлены закономерности межгодовой изменчивости ТПО Охотского моря;
- 3) на основе оценки линейных трендов выявлены тенденции понижения ТПО, наиболее значительные в северной и западной частях Охотского моря весной, что связано с уменьшением ледовитости моря и, следовательно, с глобальным потеплением;
- 4) оценены статистические взаимосвязи ТПО и потока солнечной радиации у поверхности Охотского моря и показано, что ранний прогрев северо-западного района и 11-летние колебания ТПО на северном шельфе связаны с коротковолновой солнечной радиацией;
- 5) на основе гармонического анализа полей приземного атмосферного давления определено положение (к востоку от о-вов Сахалин и Хоккайдо) границы, разделяющей области с разным характером годовых вариаций: высокого давления зимой и низкого летом над материком и низкого давления зимой и высокого летом над океаном.

Практическая значимость. Выявлены взаимосвязи аномалий ТПО с подходами горбуши и условиями развития устриц, установлена относительная стабильность условий воспроизведения охотоворского минтая. Созданное программное обеспечение с удобным пользовательским интерфейсом можно использовать в дальнейшем для решения различных задач.

Обоснованность и достоверность обеспечивается применением качественных, ранее апробированных спутниковых данных, а также применением хорошо себя зарекомендовавших статистических методов: разложения на ЭОФ, гармонического анализа, оценки линейных трендов, спектрально-временного анализа.

Апробация работы. Результаты работы опубликованы в 7 статьях в рецензируемых журналах из списка ВАК, из них три статьи вошли в переводную версию журнала «Физика атмосферы и океана», входящую в престижную базу цитирования Web of Science; подготовлена глава в монографию. Эти публикации полностью отражают содержание работы. Было сделано более 10 докладов на отечественных и международных научных конференциях. Личный вклад соискателя подтверждается тем, что он является первым автором в 7 статьях и 10 докладах на конференциях.

Структура и содержание диссертации. Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы, состоящего из 113 источников.

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цель и задачи, научная новизна, практическая значимость и основные научные результаты, выносимые на защиту; определен личный вклад автора.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена существующим представлениям об особенностях и изученности термического режима Охотского моря; дана краткая физико-географическая характеристика изучаемого района.

Вторая глава посвящена характеристике исходных данных и применяемых методов исследования. Обсуждается обработка спутниковых данных, принятых спутниковой станцией TeraScan, установленной в СахНИРО в 1997 г., включая коррекцию, расчет сеточных полей, суточное и помесячное осреднение. Обсуждаются данные реанализа ERA 5, используемые в работе, а также выполнено сравнение полей ТПО для Охотского моря по спутниковым данным и доступных в рамках реанализа ERA5; показано их сходство на большей части акватории, за исключением малых районов, которым свойственны значительные аномалии ТПО, например, зон апвеллинга. Поскольку среднемесячные спутниковые данные использовались за период 1998-2020 гг., данные реанализа также привлекались в среднемесячном осреднении за этот же период для сопоставимости.

Обсужден программный комплекс, разработанный для решения поставленных в работе задач; приведены примеры его применения. Кратко обсуждаются методы статистического анализа, применяемые в работе: выделение линейных трендов и гармонических составляющих временных рядов и их применение для прогнозных оценок, метод ЭОФ, спектрально-временной анализ.

Третья глава является центральной в диссертационной работе, она посвящена собственно пространственно-временной изменчивости ТПО Охотского моря и прилегающих акваторий. На основе гармонического и ЭОФ- анализа проанализированы сезонные вариации ТПО, причем выявлено явление, которое автор назвал «волной тепла»: наиболее ранние прогрев и охлаждение поверхности Охотского моря происходят в северо-западной части моря и распространяются на юго-восток, покрывая акваторию моря за срок около месяца. Проанализированы циклические компоненты межгодовой изменчивости ТПО, основной вклад среди которых дают составляющие с периодом 6 лет; также существенны составляющие с периодами 3, 8, 11 лет.

Выполнен анализ односторонних тенденций ТПО в изучаемом районе на основе оценки линейных трендов. Показано наличие отрицательных трендов ТПО с января по июль, особенно сильных ($0.5\text{--}1.5^{\circ}\text{C}$ на 10 лет) в северной и западных частях моря зимой и весной, что можно связать с уменьшением ледовитости и увеличением глубины зимней конвекции в районах, традиционно покрытых льдом в зимний период. В августе – ноябре тренды положительны и наиболее значительны (до 1.5°C на 10 лет) в северо-западной части Тихого океана,

примыкающей к п-ову Камчатка и северным Курильским о-вам. Для демонстрации возможности прогнозирования термических условий на основе полученных оценок трендов и циклических компонент обсужден ретроспективный прогноз для августа 2018 г.

В четвертой главе представлены результаты анализа данных реанализа по результатирующему потоку коротковолновой солнечной радиации через поверхность моря и приземному атмосферному давлению. Автор рассматривает эти параметры как оказывающие наиболее значимое влияние на формирование температуры поверхностного слоя воды в охотоморском регионе. Выявлен весьма сложный, по сравнению с ожидаемым, характер пространственно-временной изменчивости потока солнечной радиации, являющейся основным источником тепла, поступающего в поверхностный слой океана. Исследована корреляционная связь между этим параметром и ТПО Охотского моря и показано, что эта взаимосвязь наиболее значима при запаздывании ТПО на месяц по отношению к потоку солнечной радиации. Выявлены циклические составляющие в межгодовой изменчивости потока солнечной радиации – 3, 5, 7 и 11 лет. Показано, что с 11-летней гармоникой связана 11-летняя изменчивость ТПО на северном шельфе Охотского моря.

На основе гармонического анализа поля приземного атмосферного давления выделена узкая зона (к востоку от о-вов Сахалин и Хоккайдо), где амплитуда годовой гармоники близка к нулю, а фаза изменяется на 180° , что соответствует границе между противоположными годовыми колебаниями давления над материком (высокое давление зимой и низкое летом) и над океаном (низкое давление зимой и высокое летом). Вблизи восточного побережья Сахалина обнаружен локальный район, в окрестности которого фаза годовой гармоники давления изменяется на 360° , что делает этот район аналогом амфидромии в теории приливов. Обсуждены аномалии давления в отдельные годы и их влияние на термический режим и ледяной покров. Показано, что достаточно хорошее описание среднемесячного давления над материком может быть получено с использованием только годовой гармоники, над океаном – годовой и полугодовой гармоник. Сделаны оценки линейных трендов поля атмосферного давления за последние 23 года (1998–2020 гг.); показано, что Сибирский максимум ослабевает на 0.5 гПа за 10 лет, Алеутская депрессия – на 2.5 гПа за 10 лет, что означает ослабление зимнего муссона и согласуется с результатами других авторов за более ранний период времени. Сделаны оценки циклических составляющих межгодовых колебаний поля давления: составляющая с периодом 3 года наиболее значима зимой, с периодом 7 лет – летом.

В пятой главе рассматриваются практические приложения результатов диссертации, полученные автором в ходе работ по мониторингу среды обитания водных биологических

ресурсов. Весьма чувствительными к термическим условиям являются тихоокеанские лососи – одна из важнейших составляющих экономики дальневосточного региона России. Получены важные результаты по условиям в районах устьев нерестовых рек как в период ската молоди (как естественного воспроизведения, так и выпускной с рыболовных заводов), так и нерестовых подходов, когда значимые аномалии ТПО отрицательно сказываются на уловах. Рассмотрены вариации термических условий в открытом море в период нагульных миграций лососей и их зимовки. Показано, что вариации термических условий непосредственно не угрожают воспроизведению охотоморского минтая. Выявлено влияние аномалий ТПО на рост устриц.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

Недостатком работы является отсутствие оценок статистической значимости выявленных линейных трендов

В изложении материала имеют место следующие недостатки.

1. Разделы главы 1 следовало бы поменять местами: вначале дать океанографическую характеристику района исследований, а затем написать об изученности термического режима, что следовало изложить подробнее. В обзор следовало добавить материалы по прилегающим районам Тихого океана, которые также анализируются в работе.

2. В главе 2 при обсуждении спутниковых полей ТПО, созданных по данным, принимаемым спутниковой станцией СахНИРО, не обсуждается их апробация, хотя и выполненная ранее, но существенная для оценки полученных по ним результатов. Не обсуждается также доля оставшихся пропусков и то, как они могли повлиять на результаты.

3. В главе 2 не указано, что данные ТПО, доступные в рамках реанализа ERA 5, являются не продуктом этого реанализа, а анализом HadISST2 и OSTIA, основанном на данных судовых измерений, плавучих буев и спутниковых данных. Для Охотского моря, где плавучих буев почти нет, эти поля основаны преимущественно на спутниковых данных. Поля ТПО применяются в реанализе в качестве граничных условий атмосферной модели. Различия между этими данными и спутниковой ТПО СахНИРО можно связать с их гораздо меньшим пространственным разрешением.

4. Представляется неудачным описание разработанного автором программного комплекса в главе 2. Следовало начать с функционального наполнения, затем описать архитектуру комплекса, требования к компьютеру и операционной системе, пользовательский интерфейс и закончить примерами использования.

5. На стр. 58 (глава 3) описан метод т.н. псевдоспектров для анализа межгодовых вариаций ТПО, что логичнее было поместить в главу 2.

6. В подписи к рис. 4.1 не указано, что представленные коэффициенты корреляции между ТПО и потоком солнечной радиации рассчитывались с временным сдвигом в 1 месяц.

7. Результаты работы в Заключении сформулированы слишком многословно. Результаты ЭОФ-анализа следовало описывать не в терминах пространственной и временной функций, а с точки зрения физической интерпретации.

8. Работа, в целом, неплохо и грамотно написана, но в некоторых местах изложение не вполне логично, как указано выше; встречаются жаргонные выражения, например «скачивание данных», «клик», и т.п.

Отмеченные недостатки не снижают значимости выполненной диссертантом масштабной разноплановой работы, основанной на большом объеме материала, которая включала анализ пространственно-временной изменчивости ТПО и влияющих на нее факторов, а также оценку термических условий среды обитания промысловых гидробионтов Охотского моря. Выявлены статистические закономерности временной изменчивости на всей акватории моря, а не только в прибрежных или отдельных районах, что можно было сделать только по регулярным спутниковым данным или данным реанализа. Выполнена оценка влияния термических условий на промысловых гидробионтов и даны практические рекомендации. Таким образом, диссертационная работа Ложкина Д.М. представляет собой законченное научное исследование, в котором содержится новое решение актуальных задач, важных в научном и практическом планах. Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы. Текст автореферата диссертации соответствует содержанию диссертации. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук согласно п. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в ред. Постановления Правительства РФ от 11.09.2021), а сам автор, Ложкин Дмитрий Михайлович, достоин присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы.

Диссертация обсуждалась на заседании семинара отдела общей океанологии ТОИ ДВО РАН 9 марта 2022 г., отзыв обсуждался на заседании семинара 27 апреля 2022 г.

Отзыв составила:

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

Трусенкова О.О.

27 апреля 2022 г.

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

«27» апреля 2022 г.

Место печати

Подпись

Сведения об организации

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

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

Тел.: +7 (423) 231-1400

Сайт: www.poi.dvo.ru

