

© Авторы, 2026 г.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors, 2026.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 551.461.2

<https://doi.org/10.30730/gtr.2026.10.3.289-298>
<https://www.elibrary.ru/jwkvrm>

Пространственно-временная изменчивость колебаний уровня океана по данным IMMOAD SSHA после дополнительной коррекции приливной составляющей

Г. В. Шевченко^{1,2}, Ж. Р. Цхай¹

¹ Сахалинский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («СахНИРО»), Южно-Сахалинск, Россия

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Резюме. Выполнен анализ сезонной и межгодовой изменчивости колебаний уровня моря в северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морях с применением разложения исходных рядов данных по методу естественных ортогональных функций. Работа основана на массиве материалов альтиметрических наблюдений IMMOAD SSHA за 1993–2021 гг., в котором была проведена дополнительная коррекция приливов и ежемесячное усреднение данных в каждой точке подспутниковых треков. Показано, что первые три моды разложения имеют схожую пространственную структуру с противофазным характером изменений уровня в северной (побережье Берингова и Охотского морей) и южной (зона влияния теплого течения Куросио) частях изучаемой акватории. В вариациях временной функции первой моды доминирует годовой ход с максимумом осенью и минимумом весной, во второй он также преобладает (максимум зимой и минимум летом), но присутствуют более слабые колебания с периодами 10–11 лет и 21–22 года. Третья мода характеризует межгодовые вариации с периодом 10–11 лет, коррелирующие с изменчивостью индекса PDO. Четвертая составляющая описывает сложные процессы в зоне влияния течения Куросио.

Ключевые слова: альтиметрия, естественные ортогональные функции, спектрально-временной анализ, северо-западная часть Тихого океана, Охотское море, Берингово море, течение Куросио

Spatiotemporal variability of sea level fluctuations according to IMMOAD SSHA data after additional correction of the tidal component

G. V. Shevchenko^{1,2}, Zh. R. Tskhai¹

¹ Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

² Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Abstract. Seasonal and interannual variability of sea level fluctuations in the northwestern Pacific Ocean and the Far Eastern seas was analyzed using the empirical orthogonal function decomposition of the original data series. The study is based on a data set of altimetric observations from the IMMOAD SSHA for the period 1993–2021, which included additional tidal correction and monthly averaging of data at each point along the satellite tracks. It was shown that the first three modes of decomposition have a similar spatial structure with opposite patterns of sea-level variations in the northern (the coast of the Bering and Okhotsk Seas) and southern (the zone influenced by the warm Kuroshio Current) regions. The variations in the temporal function of the first mode are dominated by an annual cycle, with a maximum in autumn and a minimum in spring. While this pattern is also dominant in the second mode (with maximum in winter and minimum in summer), there are weaker oscillations with periods of 10–11 and 21–22 years as well. The third mode characterizes interannual variations with a period of 10–11 years, which are correlated with the variability of the Pacific Decadal Oscillation (PDO) index. The fourth mode describes complex processes in the area influenced by the Kuroshio Current.

Keywords: altimetry, empirical orthogonal functions, spectral-temporal analysis, Northwest Pacific Ocean, Sea of Okhotsk, Bering Sea, Kuroshio Current

Финансирование и благодарности

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» (№ 076-00002-26-00) и при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 24-61-00025).

Авторы выражают благодарность д.т.н. Романову А. А. (АО «ЦНИИМАШ», г. Королев) за помощь в формировании информационной базы исследования.

Funding and Acknowledgements

The study was carried out within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institute “VNIRO” (No. 076-00002-26-00) and with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 24-61-00025).

The authors thank the respected Dr. A. A. Romanov (TsNIMASH JSC, Korolyov) for his assistance in compiling the research database.

Для цитирования: Шевченко Г.В., Цхай Ж.Р. Пространственно-временная изменчивость колебаний уровня океана по данным IMMOAD SSHA после дополнительной коррекции приливной составляющей. *Геосистемы переходных зон*, 2026, т. 10, № 3, с. 289–298. <https://doi.org/10.30730/gtr.2026.10.3.289-298>; <https://www.elibrary.ru/jwkvrm>

For citation: Shevchenko G.V., Tskhay Zh.R. Spatiotemporal variability of sea level fluctuations according to IMMOAD SSHA data after additional correction of the tidal component. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2026, vol. 10, No. 3, p. 289–298. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2026.10.3.289-298>; <https://www.elibrary.ru/jwkvrm>

Введение

Сезонные и межгодовые вариации уровня моря традиционно привлекают интерес многих специалистов, так как они отражают сложные процессы, протекающие в океане, в частности, изменения циркуляции его вод. Для их изучения широко используются данные спутниковой альтиметрии, подобные исследования были проведены как для северо-западной части Тихого океана [1], так и для его тропической зоны [2]. В то же время с использованием этих материалов имеются некоторые проблемы.

В работе [3] было выявлено, что в массиве аномалий уровня моря, сформированного на основе альтиметрических наблюдений с группы искусственных спутников Земли, осуществивших полеты начиная с 1993 года по одним и тем же орбитам и именуемом Integrated Multi-Mission Ocean Altimeter Datasets Sea Surface Anomalies (IMMOAD SSHA, далее SSHA), имеется остаточное влияние приливной компоненты. Данная особенность была обнаружена в северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морях, но присуща, вероятно, всему Мировому океану. Это влияние выражалось в том, что при расчете амплитуд главных приливных волн были получены значения в несколько см, не только в прибрежных районах Дальнего Востока России, но так-

же и в открытом океане, несмотря на то, что из этих материалов приливная компонента уже была ранее удалена [4, 5]. Это обстоятельство не позволяет с доверием относиться к утверждению создателей массива о том, что погрешность данных SSHA составляет около 2 см для прибрежных акваторий и менее 1 см для удаленных от берега районов, учитывая важную роль этих материалов для создания различных продуктов (META, GLORYS и т.д.), широко применяемых в океанологических исследованиях, в том числе для изучения динамических процессов в северо-западной части Тихого океана (далее СЗТО) [6, 7], включая сезонные вариации [8, 9], волны Россби [10, 11] и мезомасштабные вихревые образования [12]. Кроме того, данные спутниковой альтиметрии можно использовать для мониторинга антициклонических рингов, расположение которых может оказать влияние на места скопления пелагических видов рыб, например, сайры [13].

В результате дополнительной фильтрации остаточного прилива (присутствующего в массиве SSHA) был получен набор данных, в котором вклад приливной компоненты является действительно незначительным. В работах [14–16] исследовалась пространственная структура непериодических вариаций уровня моря в изучаемой области, в том числе при помощи построения автокорреляционных

функций. Было показано, что усредненные за многолетний период пространственные распределения аномалий уровня поверхности с учетом дополнительной коррекции существенно отличаются от полученных без ее включения. Поэтому представлялось важным исследовать полученный очищенный от прилива массив данных с применением одного из наиболее распространенных при анализе спутниковых данных методов пространственно-временного анализа – разложения по естественным ортогональным функциям (далее ЕОФ) [17]. Структура пространственных и временных функций обычно имеет выраженный физический смысл и характеризует важные процессы, происходящие в регионе.

Как отмечалось в работах [15-16], построение автокорреляционных функций может быть успешным подходом при заполнении пропусков в данных, возникающих, в частности, из-за наличия ледяного покрова в прибрежных акваториях Дальнего Востока. Для решения подобных задач метод ЕОФ является весьма эффективным инструментом, нашедшим широкое применение при анализе последовательности гидрометеорологических полей [17]. Данный подход требует регулярных

по времени данных, поэтому в массиве SSHA было выполнено помесечное усреднение. Указанная процедура позволила получить набор данных с эквидистантными отсчетами по времени без пропусков в каждой пространственной ячейке области. Эта методика несколько осложняет процедуру восстановления данных, однако эта проблема может быть решена путем интерполяции временных функций нескольких основных мод разложения по ЕОФ. Исследование пространственно-временной изменчивости колебаний уровня моря путем изучения особенностей пространственной структуры и характера вариаций временных функций (сезонных и межгодовых) основных мод представляет значительный физический интерес и является главной целью данной работы.

Материалы измерений и методы исследования

Исходными материалами для данной работы послужил массив IMMOAD SSHA за 1993–2021 гг. с учетом дополнительной фильтрации приливов, выполненной в работе [3]. Положение подспутниковых треков приведено на рис. 1. Для получения регулярных

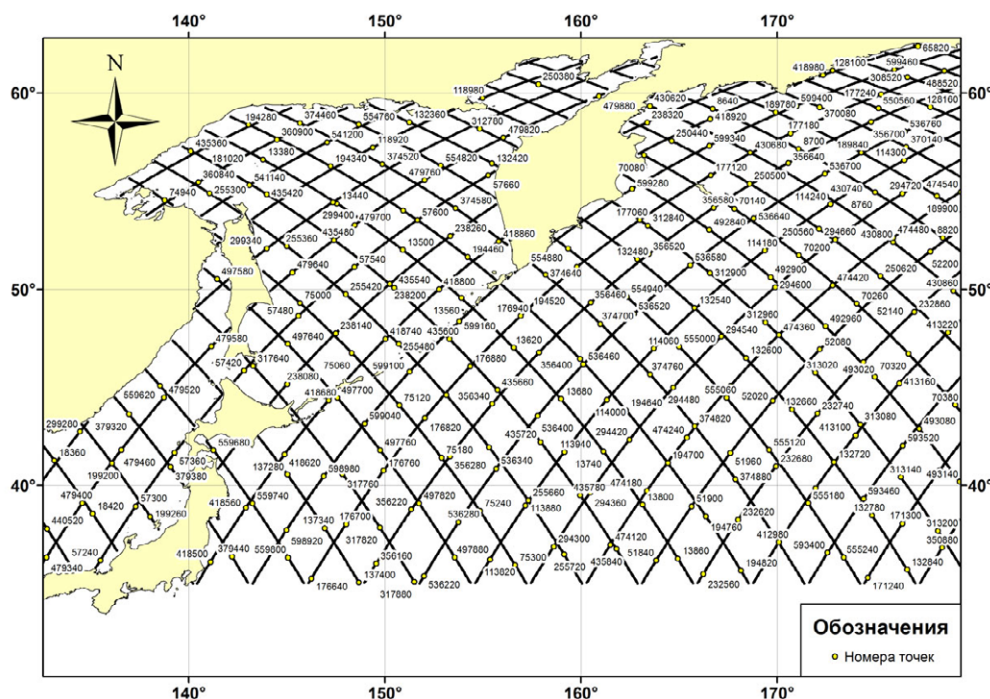


Рис. 1. Схема подспутниковых треков, в точках которых была сформирована база данных SSHA.

Fig. 1. Diagram of the subsatellite tracks on which the SSHA database was formed.

по времени данных на этой пространственной решетке остаточные ряды были усреднены помесечно. Это позволило применить к ним метод естественных ортогональных функций [17]. Рассматривались 4 старшие моды разложения массива по ЕОФ, на которые приходилось 31.2, 5.1, 3.4 и 3.1% общей дисперсии соответственно. Для анализа структуры временных функций этих мод применялись методы статистического, спектрального и спектрально-временного (Вэйвлет) анализа. Расчет спектрально-временных или СВАН-диаграмм [18] производился в диапазоне частот от 2 до 0.03 цикл/год (период от полугода до 30 лет), изолинии проводились через 1 децибел.

Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлены пространственные распределения четырех первых мод разложения массива SSHA по ЕОФ (полагались безразмерными), а на рис. 3 – их временные

функции (в см). Распределение первой моды (на нее приходится около 31.2% общей дисперсии неперiodических вариаций уровня моря) характеризовалось положительными значениями на большей части изучаемой акватории с максимальными величинами (до 15) на южной границе области к востоку от о. Хонсю. Значения моды плавно убывают в северном направлении и принимают отрицательные значения (до -1) на северном шельфе Охотского моря, у юго-западного и восточного побережья Камчатки, вдоль западного берега Берингова моря.

Временная функция основной составляющей характеризуется выраженным годовым ходом и наличием линейного тренда с коэффициентом около 0.07 см/год (на рис. 3 скорость тренда дана в см/мес). Это существенно меньше известных оценок скорости роста уровня Мирового океана по альтиметрическим данным, составляющих около 0.3 см/год [19], причина таких различий неясна. Возможно, она связана

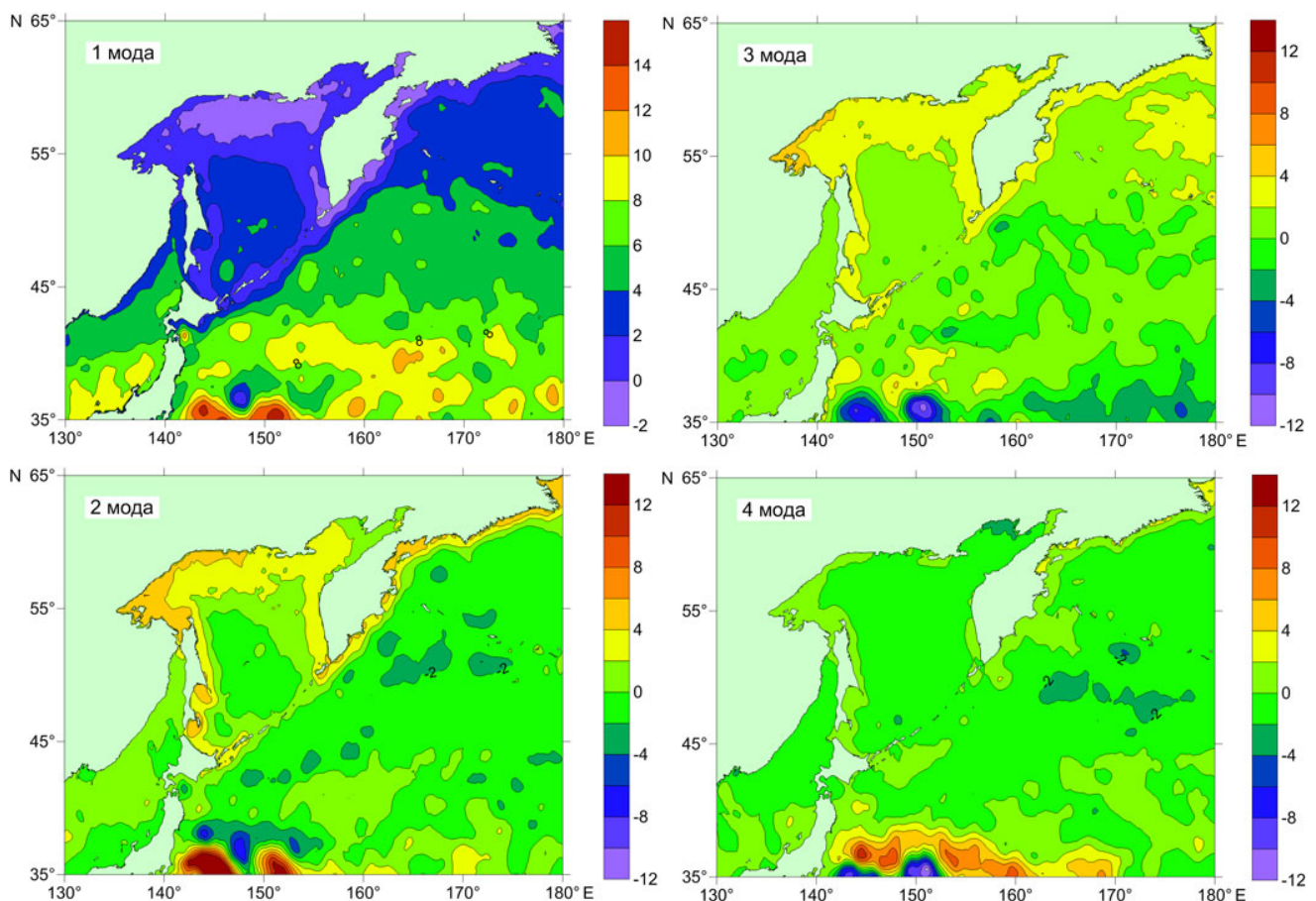


Рис. 2. Пространственные распределения четырех первых мод разложения массива SSHA по ЕОФ (безразмерные).

Fig. 2. Spatial distributions of the first four modes of EOF decomposition of the SSHA dataset (dimensionless).

с более низкой скоростью роста температуры поверхности океана на значительной части изучаемой акватории (Охотское море, северная часть Японского моря, акватория, прилегающая к центральному и северному участкам Курильской гряды). В сезонных вариациях явно доминирует годовая гармоника с амплитудой

1.1 см и фазой 250° , что отвечает максимальным значениям функции в сентябре. Роль полугодовой гармоник существенно меньше, ее амплитуда составляет 0.2 см. Значения амплитуды годовой волны весьма устойчивы, в различные годы они колебались в весьма узких пределах, от 0.9 до 1.2 см. Усредненная кривая годового хода имеет минимум в феврале-марте (-0.96 и -0.93 см соответственно) и максимум в сентябре-октябре (1.14 и 1.21 см). Несколько меньшие, но существенные значения (по абсолютной величине) принимала временная функция в январе и апреле, а также в августе и ноябре.

Отрицательные значения функции зимой и в начале весны отвечают формированию высоких значений уровня вдоль побережья Охотского и Берингова морей, связанных с интенсификацией циклонической циркуляции в этих бассейнах. При этом в зоне течения Куро-сио, ослабленного в этот период, наблюдаются самые низкие значения уровня [14]. Положительные величины летом и осенью соответствуют высоким значениям уровня в зоне в период высокой активности теплых течений Куро-сио и Цусимского. Летом вдоль побережья западного берега Берингова моря и практически всего побережья Охотского моря уровень низкий по причине изменения характера циркуляции, а осенью из-за сгонного действия ветров северо-западного и северного румбов, обусловленных осенне-зимним муссоном.

Можно сказать, что первая мода характеризует главным образом противофазные изменения уровня и связанной с ним циркуляции вод весной и осенью, и в меньшей степени процессы, происходящие зимой и летом.

Пространственное распределение второй моды, на которую приходится 5.1% общей дисперсии параметра, характеризуется высокими значениями (около 5) вдоль всего северо-восточного побережья Азии от Берингова пролива до южной оконечности полуострова Камчатка и северных Курильских островов, а также у берегов Охотского моря (от 4 до 5) за исключением центральной части Курильской островной гряды. На большей части акватории

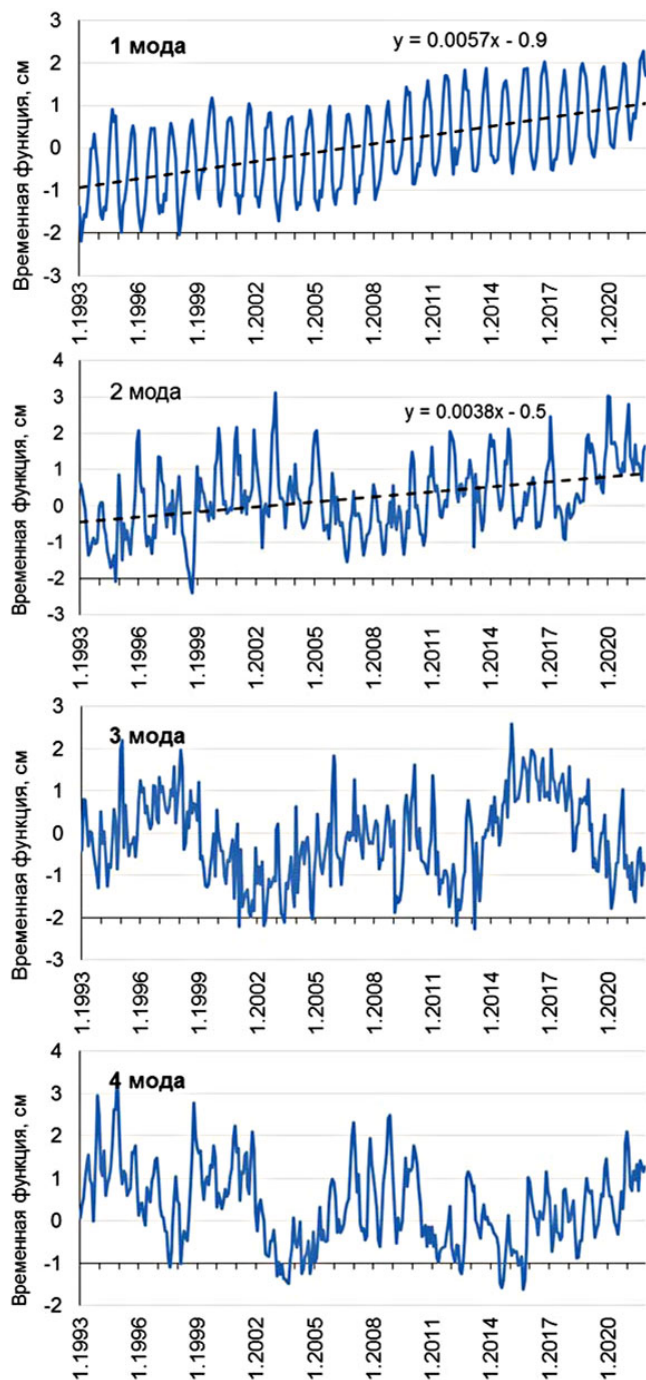


Рис. 3. Временные функции четырех первых мод разложения массива SSHA по ЕОФ (в см).

Fig. 3. Time functions of the first four modes of the EOF decomposition of the SSHA dataset (in cm).

СЗТО, Берингова моря, в центре Охотского и в Японском море значения моды отрицательные, но сравнительно небольшие по модулю, от 0.5 до 1.5 (на небольших участках до 2), а у южной границы изучаемой области выделяются два пятна с высокими положительными показателями, до 14.

Временная функция этой составляющей носит сложный характер. В ней присутствует и линейный тренд, и межгодовые вариации, и годовой цикл, однако не такой стабильный, как у первой моды. Коэффициент линейного тренда положителен и также показывает невысокую скорость роста, около 0.046 см/год. Усредненная амплитуда годового хода составила 0.7 см (фаза 13°), но изменялась в широких пределах, от 0.5 до 1.3 см. Амплитуда полугодовой гармоника была существенно меньше, около 0.2 см.

Усредненная кривая годового хода характеризуется высокими значениями в зимние месяцы, 1.3 см в январе и около 0.9 см в декабре и феврале. Минимальные значения отмечены в июле и августе (-0.4 см). Такие значения пространственного распределения и временной функции моды отвечают формированию зимнего максимума уровня у побережья Берингова и Охотского морей, а также восточного побережья Камчатки, и более слабо выраженного минимума в этих районах летом. Эти особенности, отражающие усиление циклонической циркуляции в холодный период года и смену направления прибрежных потоков летом, обсуждались в работе [14]. На остальной части изучаемой акватории распределение уровня, обусловленное данной модой, можно характеризовать как довольно равномерное, несколько ниже среднего зимой и выше летом. Исключения составляют два пятна на южной границе области, к востоку от о. Хонсю, в которых отклонения уровня более существенны. Их физический смысл понять сложно, обычно они связаны с существованием малоподвижных вихревых структур. В пользу этого мнения говорит и наличие особенностей пространственного распределения динамической топографии (как усредненной, так и построенной для отдельных сезонов года), однако детально этот вопрос в данной работе не рассматривается.

Как отмечалось выше, в вариациях временной функции второй моды просматриваются и межгодовые колебания. Как показал расчет спектрально-временной диаграммы (рис. 4), помимо основного максимума на периоде 1 год, имеются спектральные полосы на периодах 10–11 лет и 21–22 года. В первой из них наблюдалось плавное возрастание спектральной амплитуды в течение периода наблюдений, значения во второй полосе более стабильны.

Пространственная структура третьей моды (3.4% дисперсии) сходна с рассмотренной выше для второй, главной особенностью которой были высокие значения у побережья Охотского и Берингова морей. Отличительной ее чертой является наличие низких значений в районе пятен, где вторая мода имела выраженные максимумы, и в целом вдоль южной границы рассматриваемой области. Если во временных функциях первых двух составляющих разложения по ЕОФ явно доминировал годовое ход, то для третьей характерной особенностью было преобладание межгодовых вариаций с периодом 10–11 лет. Наблюдается достаточно высокая корреляция этой цикличности с индексом PDO – 0.48 для месячных значений (это значимая связь, учитывая длину сравниваемых рядов в 348 отсчетов) и 0.61 для среднегодовых. Для чисел Вольфа связь отрицательная и существенно более слабая, коэффициент корреляции составил -0.4 . В свете значимой связи с тихоокеанским десятилетним колебанием, особенно удивительным фактом является то обстоятельство, что в северной и в южной частях изучаемой области вариации уровня, характеризуемые данной модой, происходят в противофазе. Если для акватории вблизи ее южной границы такая связь достаточно очевидна: повышение температуры поверхностного слоя воды в этой зоне естественно приводит к возрастанию уровня океана, то для прибрежных районов Охотского и Берингова морей влияние PDO совсем не очевидно. Возможно, оно проявляется через активизацию атмосферных процессов. Также стоит отметить более слабую спектральную полосу на периоде около 21–22 лет.

Сезонные вариации (годовые и полугодовые, средние амплитуды 0.4 и 0.3 см) также

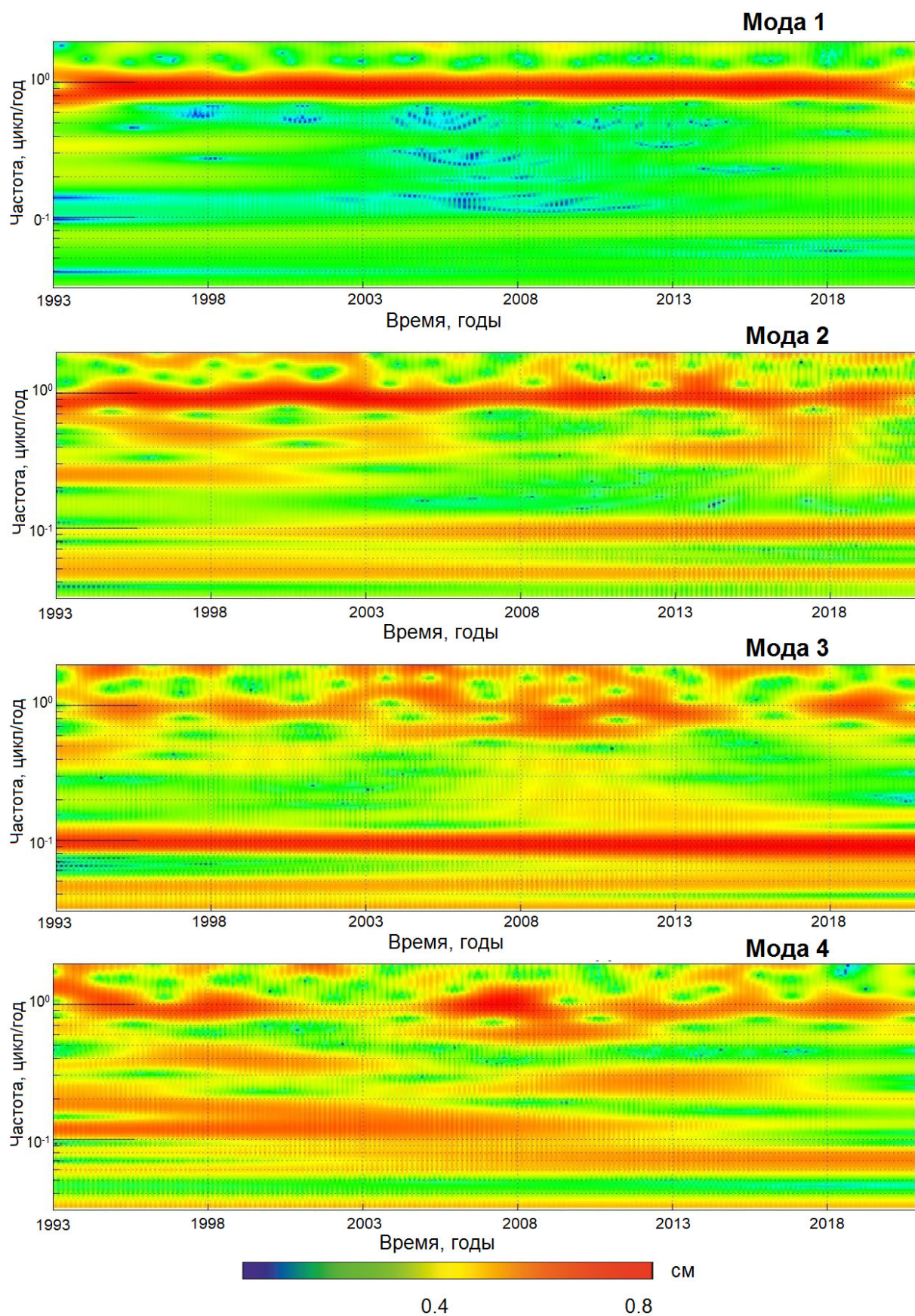


Рис. 4. Спектрально-временные диаграммы временных функций четырех первых мод разложения массива SSHA по EOF.

Fig. 4. Frequency-time diagrams of the time functions of the first four modes of EOF decomposition of the SSHA dataset.

играют определенную роль, но они присутствуют во временной функции не постоянно, а проявляются на отдельных интервалах времени.

Распределение четвертой моды (3.1%) характеризуется сравнительно небольшими по абсолютной величине отрицательными значениями ($-1 \sim -1.5$) на большей части изучаемой области. Значимые величины (преимущественно положительные, но вблизи границы отрицательные) отмечены в зоне действия теплого течения Куро-сио, к востоку от о. Хонсю. Можно сказать, что данная мода отражает главным образом проявления этого течения в межгодовых и в меньшей степени сезонных вариациях уровня океана. Интересно, что в первой половине анализируемого интервала времени преобладали колебания с периодом около 8 лет, во второй – 12 лет (рис. 3). Годовая гармоника проявлялась непостоянно, ее средняя амплитуда составила 0.5 см.

Заключение

Сезонная и межгодовая изменчивость колебаний уровня океана в СЗТО и дальневосточных морях изучена на основе массива альтиметрических данных IMMOAD SSHA за 1993–2021 гг. (дополнительно очищенного от остаточных приливных колебаний) с применением метода естественных ортогональных функций.

Выявлено, что пространственная изменчивость трех главных мод сходна и характеризуется наиболее существенными отклонениями разных знаков от средней поверхности в прибрежных районах Охотского и Берингова морей, а также в зоне теплого течения Куро-сио. Первые две описывают главным образом сезонные вариации. Первая мода определяется низкими значениями у берега вследствие действия зимнего муссона с типичными сгонными ветрами северо-западного румба и высокими значениями в южной части акватории осенью и противоположной картиной весной. Вторая (и частично первая) характеризует наиболее важную особенность сезонных вариаций уровня в изучаемой области – высокие значе-

ния уровня в отмеченных выше прибрежных областях зимой и низкие в зоне течения Куро-сио, и противофазные изменения летом. Можно сказать, что годовые вариации в изучаемой области носят характер стоячих колебаний с пучностями на ее северной и южной границах и с некоторыми проявлениями, характерными для волн Россби [10]. Однако волновые движения в краевых участках такой большой акватории определяются совершенно разными процессами, поэтому сложно интерпретировать особенности годового цикла в подобном ключе.

Третья мода отражает межгодовые колебания (с периодом 10–11 лет, коррелирующим с индексом PDO), носящие противофазный характер в северной и южной частях изучаемой области. Четвертая составляющая описывает сложные трансформации уровня в зоне влияния теплого течения Куро-сио.

Полученные пространственные распределения главных мод разложения колебаний уровня по ЕОФ и их временные функции можно использовать как для восстановления пропусков данных, которые характерны на акваториях дальневосточного побережья России, покрытых в зимний период льдом, так и для прогнозирования движения мезомасштабных вихрей при оперативном регулировании промысла пелагических видов рыб.

Список литературы

1. Liu H., Feng X., Tao A., Zhang W. Intraseasonal variability of sea level in the Western North Pacific. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2021,126(6):1–19. <https://doi.org/10.1029/2021JC017237>.
2. Wang J., Li J., Yin J., Tan W., Liu Y. Sea level seasonal, interannual and decadal variability in the tropical Pacific Ocean. *Remote Sensing*. 2021,13(19):3809. <https://doi.org/10.3390/rs13193809>
3. Шевченко Г.В., Романов А.А., Цой А.Т. О точности устранения приливной компоненты из данных спутниковой альтиметрии IMMOAD SSHA. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2023,20(4):20–29. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-4-20-29>.
4. Beckley B.D., Callahan P.S., Hancock D.W. et al. On the “cal-mode” correction to TOPEX satellite altimetry and its effect on the global mean sea level time series. *Geophysical Research: Oceans*. 2017,122(12):8371–8384. <https://doi.org/10.1002/2017JC013090>.

5. Beckley B., Zelensky N.P., Holmes S.A. et al. Merged_tp_J1_ostm_ost_all_V50. Ver. 5.0. PO.DAAC, CA, USA, 2021. <https://doi.org/10.5067/ALTTS-TJA50>.
6. Белоненко Т.В., Колдунов В.В., Старицын Д.К., Фукс В.Р., Шилов И.О. *Изменчивость уровня северо-западной части Тихого океана*. СПб.: Изд-во СММО-ПРЕСС, 2009, 309 с.
7. Белоненко Т.В. Спутниковая альтиметрия северо-западной части Тихого океана. *Известия Российского гос. педагог. ун-та им. А. И. Герцена*. 2013,163:120–128. EDN: RTEPKJ
8. Белоненко Т.В., Фукс В.Р. Годовые и полугодовые возмущения уровня северо-западной части Тихого океана. *Метеорология и гидрология*. 2001,8:69–77.
9. Колдунов В.В. Межгодовые и сезонные колебания уровня северной части Тихого океана. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7*. 2007,2:142–148.
10. Белоненко Т.В., Колдунов В.В., Фукс, В.Р. Кинематика стояче-поступательных волн Россби в море и в океане. *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2013,6(1):23–31. EDN: QAVBCT
11. Белоненко Т.В. Наблюдения волн Россби в северо-западной части Тихого океана. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012,9(3):209–215. EDN: PBMURUT
12. Травкин В.С., Белоненко Т.В., Кочнев А.В. Топографические волны в Курильском районе. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2022,19(5):222–234. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-5-222-234>.
13. Kulik V.V., Prants S.V., Uleysky M.Y., Budyansky M.V. Lagrangian characteristics in the western North Pacific help to explain variability in Pacific saury fishery. *Fisheries Research*. 2022,252(10):106361. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106361>.
14. Шевченко Г. В., Романов А. А. О значении приливной коррекции для расчёта средних поверхностей уровня моря по данным спутниковой альтиметрии IMMOAD SSHA. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2023,20(6):80–91. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-6-80-91>
15. Романов А. А., Романов А. А. Отдельные свойства пространственной функции корреляции аномалий высоты морской поверхности по данным спутниковой альтиметрии в Дальневосточном регионе. *Космонавтика и ракетостроение*. 2024,3:89–97. EDN: VOMKMR
16. Романов А. А., Романов А. А., Шевченко Г. В. Определение основных параметров временной автокорреляционной функции аномалий уровня поверхности в северо-западной части Тихого океана. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2024, 21(5):36–46. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-5-36-46>
17. Багров Н.А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих. 1959,74:3–24. (Труды ЦИП).
18. Ландер А.В., Левшин Л. П., Писаренко В.Ф., Погребинский Г.А. О спектрально-временном анализе колебаний. *Вычислительные и статистические методы интерпретации сейсмических данных. Серия «Вычислительная сейсмология»*. Вып. 6. М.: Наука, 1973, с. 15–23.
19. 27-year sea level rise – TOPEX/JASON. URL: <https://svs.gsfc.nasa.gov/4853> (дата обращения 15.06.2026).

References

1. Liu H., Feng X., Tao A., Zhang W. Intraseasonal variability of sea level in the Western North Pacific. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2021, 126, 2021,126(6):1–19. <https://doi.org/10.1029/2021JC017237>.
2. Wang J., Li J., Yin J., Tan W., Liu Y. Sea level seasonal, interannual and decadal variability in the tropical Pacific Ocean. *Remote Sensing*. 2021,13(19):3809. <https://doi.org/10.3390/rs13193809>
3. Shevchenko G.V., Romanov A.A., Tsoy A.T., On the accuracy of removing the tidal component from IMMOAD SSHA satellite altimetry data. *Current problems in remote sensing of the Earth from the space*. 2023,(20)4:20–29. (in Russ.). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-4-20-29>.
4. Beckley B.D., Callahan P.S., Hancock D. W. et al. On the “cal-mode” correction to TOPEX satellite altimetry and its effect on the global mean sea level time series. *Geophysical Research: Oceans*. 2017,122(12):8371–8384. <https://doi.org/10.1002/2017JC013090>.
5. Beckley B., Zelensky N.P., Holmes S.A. et al. Merged_tp_J1_ostm_ost_all_V50. Ver. 5.0. PO.DAAC, CA, USA, 2021. <https://doi.org/10.5067/ALTTS-TJA50>.
6. Belonenko T.V., Koldunov V.V., Staritzin D.K., Foux V.R., Shilov I.O. *Sea-surface level variability in the north-western Pacific*. Saint Petersburg: SMIO-PRESS, 2009, 309 p. (in Russ.).
7. Belonenko T. V., Satellite altimetry of the North-Western Pacific, *Izvestia: Herzen University J. Humanities and Sciences*, 2013,163:120–128. (in Russ.). EDN: RTEPKJ
8. Belonenko T.V., Fuks V.R. Annual and semiannual wave disturbances of the Northwestern Pacific level. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2001,8:51–57. (in Russ.).
9. Koldunov V.V. Interannual and seasonal fluctuations in the level of the northern part of the Pacific Ocean. *Bul-*

- letin of St. Petersburg University. Issue 7. 2007,2:142–148. (in Russ.).*
10. Belonenko T.V., Koldunov V.V., Foux V.R. Kinematics of the standing-progressive waves of Rossby in the sea and ocean. *Fundamental and Applied Hydrophysics*. 2013,6(1):23–31. (In Russ.). EDN: QAVBCT
 11. Belonenko T.V. Rossby waves observation in the Northwestern Pacific. *Current problems in remote sensing of the Earth from the space*. 2012,9(3):209–215. (in Russ.). EDN: PBMRUT
 12. Travkin V.S., Belonenko T.V., Kochnev A.V. Topographic waves in the Kuril region. *Current problems in remote sensing of the Earth from the space*. 2022,19(5):222–234. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-5-222-234>. (In Russ.).
 13. Kulik V.V., Prants S.V., Uleysky M.Y., Budyansky M.V. Lagrangian characteristics in the western North Pacific help to explain variability in Pacific saury fishery. *Fisheries Research*. 2022,252(10):106361. (In Russ.). <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106361>.
 14. Shevchenko G.V., Romanov A.A. On the importance of tidal correction for calculation of mean sea level surfaces from IMMOAD SSHA satellite altimetry data. *Current problems in remote sensing of the Earth from the space*. 2023,20(6):80–91. (In Russ.). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-6-80-91>
 15. Romanov A.A., Romanov A.A. Selected properties of the spatial correlation function of sea surface height anomalies based on satellite altimetry data in the Far Eastern Region. *Cosmonautics and rocket engineering*. 2024,3:89–97. (In Russ.). EDN: VOMKMR
 16. Romanov A.A., Romanov A.A., Shevchenko G.V. Determination of the main parameters of the temporal autocorrelation function of surface level anomalies at some points in the Far Eastern Pacific Ocean. *Current problems in remote sensing of the Earth from the space*. 2024,21(5):36–46 (In Russ.) <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-5-36-46>
 17. Bagrov N.A. Analytical representation of a sequence of meteorological fields by means of empirical orthogonal components. 1959,74:3–24. (Trudy TsIP). (In Russ.).
 18. Lander A.V., Levshin L.P., Pisarenko V.F., Pogrebinsky G.A. On the spectral-time analysis of oscillations. *Computational and Statistical Methods for Interpreting Seismic Data. Computational Seismology. Issue 6*. M.: Nauka, 1973, c. 15–23. (In Russ.).
 19. *27-year sea level rise – TOPEX/JASON*. URL: <https://svs.gsfc.nasa.gov/4853> (accessed 15.06.2026).

Об авторах

✉ **Шевченко Георгий Владимирович**, доктор физико-математических наук, зав. лабораторией океанографии, Сахалинский филиал Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск, Россия, shevchenko_zhora@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0785-4618>

Цхай Жанна Романовна, кандидат географических наук, ученый секретарь, Сахалинский филиал Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск, Россия, tshajr@sakhniro.vniro.ru. <https://orcid.org/0000-0003-1061-931X>

About the Authors

✉ **Shevchenko, Georgy V.**, Doctor of Physics and Mathematics, Head of the Laboratory of Oceanography, Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, shevchenko_zhora@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0785-4618>

Tskhay, Zhanna R., Candidate of Geographical Sciences, Academic Secretary, Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, tshajr@sakhniro.vniro.ru. <https://orcid.org/0000-0003-1061-931X>

Поступила 29.06.2026

Принята к публикации 02.08.2026

Received 29 June 2026

Accepted 2 August 2026