

Определение основных параметров временной автокорреляционной функции аномалий уровня поверхности в северо-западной части Тихого океана

А. А. Романов¹, А. А. Романов¹, Г. В. Шевченко²

¹ АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»
Королёв, Московская обл., 141070, Россия
E-mail: romanovaa@tsniimash.ru

² Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск, 693023, Россия

Существенной проблемой при использовании подходов оптимальной интерполяции при восстановлении полей пространственного распределения аномалий высоты морской поверхности является поиск основных параметров и вида пространственно-временных автокорреляционных функций, которые существенно зависят от исследуемых акваторий. Использование функций, описывающих статистические свойства колебаний уровня Мирового океана, в целом могут приводить к существенным ошибкам интерполяции при восстановлении пространственного распределения аномалий высоты морской поверхности по данным спутниковой альтиметрии. В настоящей работе проведено исследование свойств временных автокорреляционных функций для различных участков акватории северо-западной части Тихого океана (СЗТО) по данным альтиметров космических аппаратов TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3. Получены оценки характерного времени затухания автокорреляционной функции для Японского моря (150 дней) и различных участков акватории СЗТО (от 40 до 100 дней), а также рассмотрено влияние остаточной приливной компоненты на основные параметры временной функции автокорреляции. Проанализирован временной ход аномалий высоты морской поверхности, полученных по спутниковым данным в выбранных точках, и показаны некоторые тенденции его изменения. Во всех рассмотренных точках наблюдается увеличение значений аномалий высоты морской поверхности минимум на 20 см за 30 лет.

Ключевые слова: спутниковая альтиметрия, временная функция автокорреляции, статистические характеристики временной изменчивости

Одобрена к печати: 12.10.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-36-46

Введение

Восстановление пространственного распределения мезомасштабной изменчивости Мирового океана по данным спутниковой альтиметрии представляет собой достаточно сложный процесс, как правило, базирующийся на статистических свойствах измеряемой величины. Причём поскольку альтиметрические измерения имеют определённое распределение не только в пространстве, но и во времени (изомаршрутный цикл космических аппаратов, на которых установлены альтиметры) (Beckley et al., 2021; Venada, 1993), необходимо проводить исследование и оценку статистических свойств данных о высоте уровня поверхности не только в пространстве, но и во времени. Это необходимо для формирования пространственно-временной автокорреляционной функции, определения её оптимального вида и коэффициентов для последующего наиболее надёжного восстановления пространственно-временного распределения аномалий высоты морской поверхности (Гандин, 1963; Полонский, Шокурова, 2008; Jacobs et al., 2001; Le Traon, 1991; Le Traon et al., 1990). Такая задача весьма актуальна для акватории северо-западной части Тихого океана (СЗТО) и дальневосточных морей, где альтиметрическая съёмка имеет много пропусков, прежде всего из-за влияния ледяного покрова.

Было проведено исследование (Kuragano, Kamachi, 2000), направленное на определение вида и параметров автокорреляционной функции на всей акватории Мирового океана

с использованием методики формирования выборочной ковариационной функции (*англ.* binned covariance function). Исследования проводились на основе данных космического аппарата TOPEX/Poseidon, которые охватывали период измерений с 1993 по 1997 г. (четыре года). Кроме того, существует ряд работ (Jacobs et al., 2001; Le Traon, 1991; Le Traon et al., 1990), в которых рассматриваются вопросы определения статистических параметров уровневых данных для отдельных акваторий на основе измерений, в том числе при помощи нескольких космических аппаратов (Jacobs et al., 2001), за период с 1993 по 2001 г. (восемь лет).

В нашем предыдущем исследовании (Романов, Романов, 2024) был построен ряд пространственных автокорреляционных функций для акватории Тихого океана в Дальневосточном регионе Российской Федерации на основе массива данных IMMOAD v5.1 (*англ.* Integrated Multi-Mission Ocean Altimeter Data for climate research) (Beckley et al., 2021), который представляет собой непрерывный и согласованный ряд альтиметрических измерений космических аппаратов TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3 для всего Мирового океана с 1993 по 2022 г. (с учётом баллистических ограничений указанных альтиметрических миссий), т.е. почти за 30 лет альтиметрических измерений. Показано, что хотя в целом характерные радиусы пространственной корреляции в регионе неплохо совпадают с результатами предыдущих исследований, однако были выявлены их определённые вариации, определяемые, судя по всему, месячной и сезонной изменчивостью параметра и региональными особенностями циркуляции океана в рассматриваемом регионе. Сделан вывод о необходимости формирования региональной функции автокорреляции для её использования при восстановлении регионального распределения.

В настоящей работе продолжают исследования статистических свойств ряда измерений аномалий высоты морской поверхности, в частности анализируются временные автокорреляционные функции за весь период альтиметрических наблюдений, доступных в массиве данных IMMOAD v5.1 для дальневосточной акватории Российской Федерации.

Информационная база исследования

Как было упомянуто выше, исследование построено на работе с альтиметрическим архивом данных IMMOAD v5.1, доступным на портале океанографических данных podaac.jpl.nasa.gov.

Архив представляет собой массив информации спутниковых альтиметров TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3, упорядоченных по циклам измерений и приведённых к единому опорному циклу для всех космических аппаратов. Осуществлена кросс-калибровка данных для устранения взаимного смещения, а также рассчитаны аномалии высоты морской поверхности с использованием всех необходимых геофизических поправок (Beckley et al., 2021).

Нами осуществлялась пространственная выборка альтиметрических данных — аномалий высоты морской поверхности — в привязке к географическому региону исследований, а также времени измерений (Романов, Романов, 2024).

Режим циркуляции для отдельных бассейнов бесспорно отличается от режима циркуляции тихоокеанской акватории в целом, поэтому в соответствии с рекомендациями (Jacobs et al., 2001; Le Traon, 1991; Le Traon et al., 1990) будем восстанавливать временные автокорреляционные функции отдельно для акватории Японского моря (точка 199184) и открытой части СЗТО. В последней распределим точки так: в динамически относительно спокойной открытой части — точка 113988, в области стационарного вихря у юго-восточного побережья о. Хоккайдо (Romanov et al., 2001) — точка 418613, а также в зоне тёплого Северо-Тихоокеанского течения — точка 497977 (*рис. 1*, см. с. 38).

Для каждой из выбранных точек (они подбирались таким образом, чтобы длина временного ряда была максимальной) был построен временной ряд аномалий высоты морской поверхности, характеризующий изменения исследуемой величины по времени. Дискретность информации по времени составляет величину порядка 10 сут, что соответствует значению изомаршрутного цикла космических аппаратов, осуществлявших альтиметрические измерения. Какой-либо дополнительной обработки данных не проводилось, временные ряды для выбранных точек за весь период наблюдений представлены на *рис. 2* (см. с. 38).

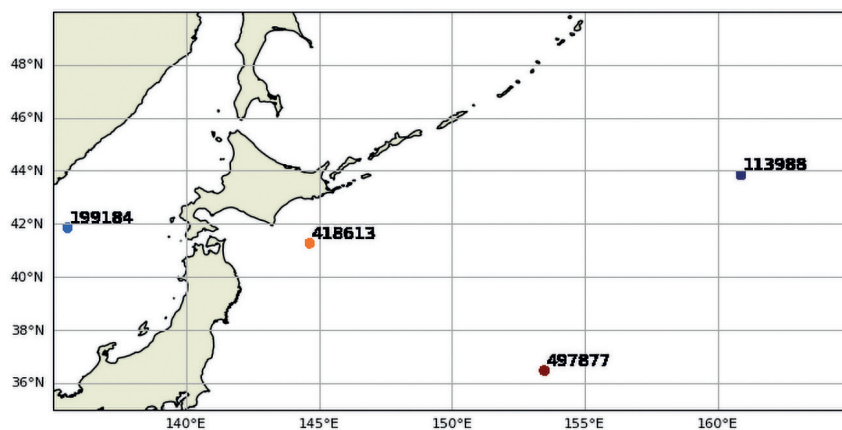


Рис. 1. Пространственные точки аномалий высоты морской поверхности, определяющие временные ряды для последующего корреляционного анализа данных

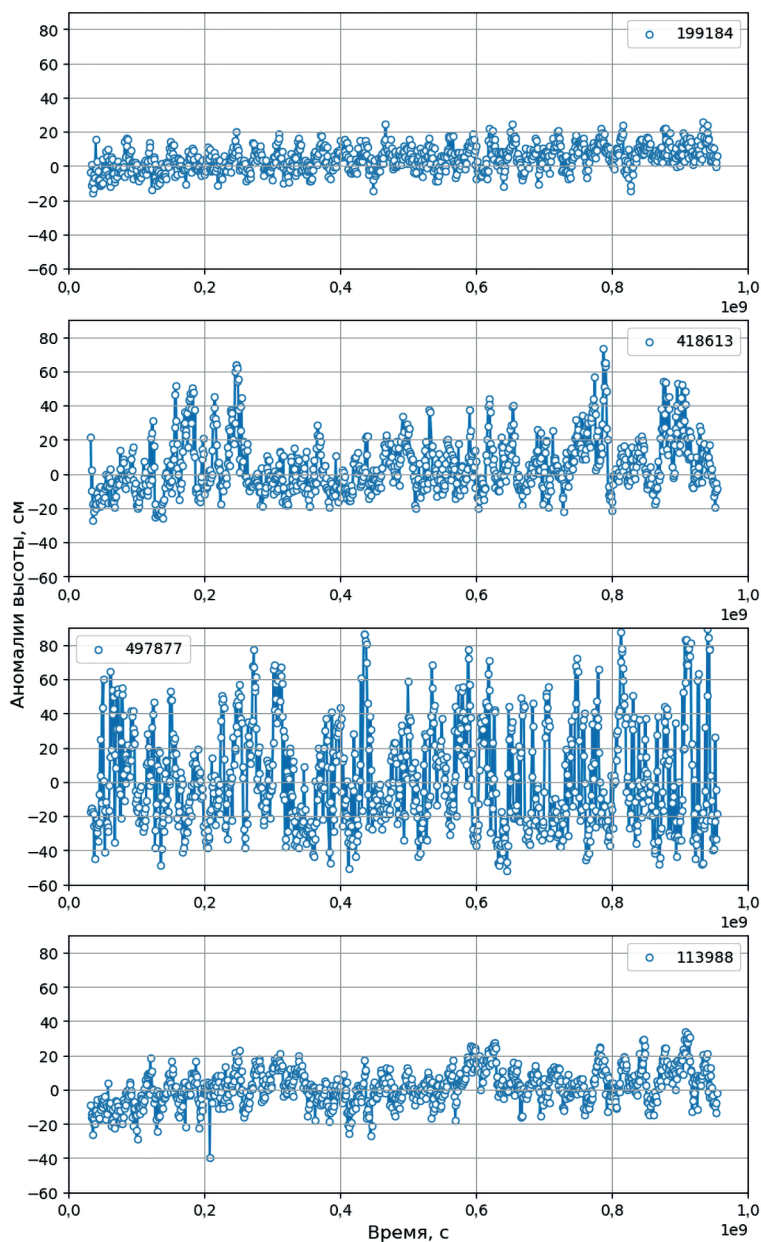


Рис. 2. Временные ряды аномалий высоты морской поверхности

На *рис. 2* для трёх выбранных точек из четырёх (199184, 418613 и 113988) наблюдается устойчивый возрастающий тренд аномалий высоты морской поверхности (отклонений от средней высоты морской поверхности (Beckley et al., 2021)). Для точки в Японском море (199184) положительный тренд составляет примерно 0,7 см в год, для точки возле о. Хоккайдо (418613) — порядка 0,3 см в год, а для точки в открытой части СЗТО (113988) — более 1 см в год.

Обращают на себя внимание некоторые особенности поведения аномалий высоты морской поверхности в различных частях изучаемой акватории. В Японском море размах колебаний рассматриваемого параметра сравнительно невелик и составляет порядка 40 см, при этом выделяется чёткий временной ход с периодом около одного года. Для точек в акватории Тихого океана вариации аномалий высоты морской поверхности отличаются большей амплитудой (от 40 до 50 см) и иным характером поведения. В точке 497877 практически не наблюдается тенденции к росту, характерной для остальных рассматриваемых точек, также трудно выделить какой-либо регулярный период временного хода данных, дисперсия данных достаточно велика. В точке 418613 выделяется годовой ход, хотя он выражен менее детально, чем в точке 199184. В открытой части СЗТО изменчивость аномалий высоты морской поверхности невелика и составляет также около 40 см, однако кроме чёткого годового хода во временном ряде выделяется более долгопериодная компонента, составляющая около 10 лет.

Оценка статистических параметров

Расчёт автокорреляционной функции аномалий высоты морской поверхности в выбранных точках акватории СЗТО будем осуществлять аналогично подходу, предложенному в работе (Гандин, 1963), который был нами использован в работе (Романов, Романов, 2024) для расчёта одномерных пространственных автокорреляционных функций.

Выбор этого подхода определяется нерегулярным распределением обрабатываемой информации в пространстве, поскольку альтиметрические космические аппараты осуществляют измерения исключительно в подспутниковых точках. Кроме того, значения аномалий высоты в определённых пространственно-временных точках могут отсутствовать по причине сбоев в измерениях или отсутствующих геофизических поправок при обработке информации определённого альтиметрического цикла и т. д. Таким образом, классический подход расчёта автокорреляционной функции при оценке статистических параметров альтиметрических измерений малоприменим без дополнительной подготовки данных, что может оказать дополнительное влияние на результат оценок (Gareth et al., 2021).

В метеорологии было найдено решение указанной проблемы. Метод расчёта корреляционной и автокорреляционной функции, изложенный в работе (Гандин, 1963), а также аналогичные подходы, приведённые в публикациях (Jacobs et al., 2001; Kuragano, Kamachi, 2000), позволяют провести необходимые расчёты без дополнительной подготовки исходных рядов, подразумевающей стягивание в узлы регулярной сетки по пространству или во времени.

На *рис. 3* и *4* (см. с. 40) представлен ход автокорреляционных функций для выбранных пространственных точек за весь период наблюдений (см. *рис. 3*) и за период в 500 сут (см. *рис. 4*). Для точки в Японском море форма корреляционной функции с выраженным максимумом на временном шаге около 365 сут (см. *рис. 3*) согласуется с представлением о наличии устойчивого годового хода, далее (рассматриваем точки с запада на восток акватории Тихого океана) для точки 418613 картина колебаний с периодом в один год становится менее выраженной, хотя появляется дополнительная слабовыраженная цикличность с периодом в 10 лет, которая визуальнo не определялась на временном ряде аномалий высоты.

Годовой ход практически полностью нарушается в точке 497877, находящейся в зоне Северо-Тихоокеанского течения и полностью восстанавливается в открытой части СЗТО (точка 113988), где он дополнен десятилетней составляющей.

Анализ функций временной автокорреляции на начальном периоде (до 500 дней) показывает, что в традиционном плане радиус корреляции выделяется только для точки 497877

(функция автокорреляции равна 0) и составляет порядка 120 сут. При этом период затухания этой функции в e раз в этой точке составляет всего 40 дней. В точке, характеризующей акваторию Японского моря (194184), этот показатель достигает максимальной величины и составляет около 150 дней. Для точек в акватории СЗТО указанный параметр практически совпадает и равен 90 дням для точки 418513 и 100 дням для точки 113988 соответственно.

Анализ полученных результатов и их сравнение с данными по региону, представленными в работе (Kuragano, Kamachi, 2000), показывает хорошее совпадение рассматриваемого показателя с результатами настоящего исследования: 41 день (Kuragano, Kamachi, 2000) и 40 дней в настоящем исследовании. Кроме того, аналогичное значение рассматриваемого параметра обсуждается в работе (Jacobs et al., 2001) с учётом приведённого пространственно-временного распределения многомерной автокорреляционной функции.

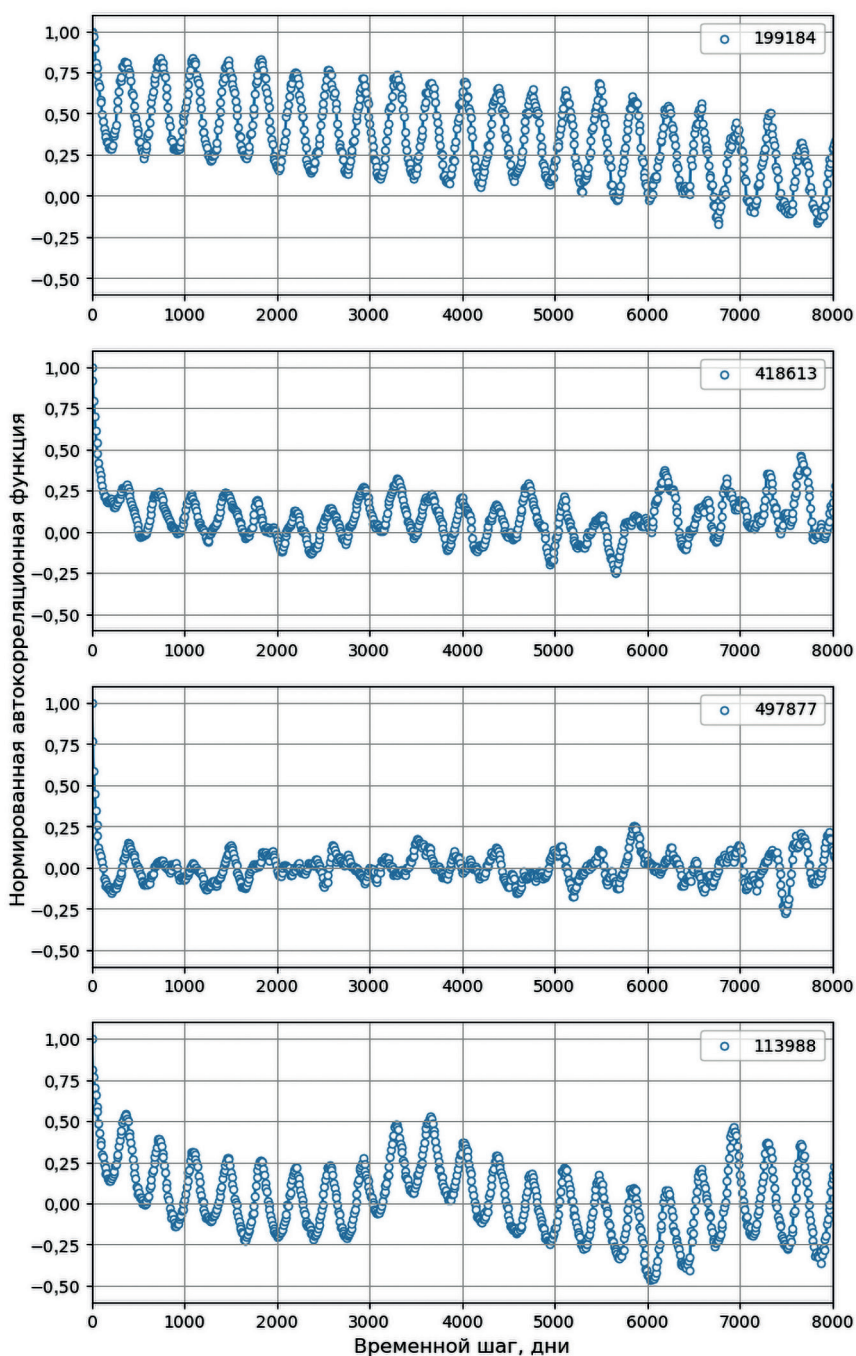


Рис. 3. Автокорреляционные функции (полный период наблюдений)

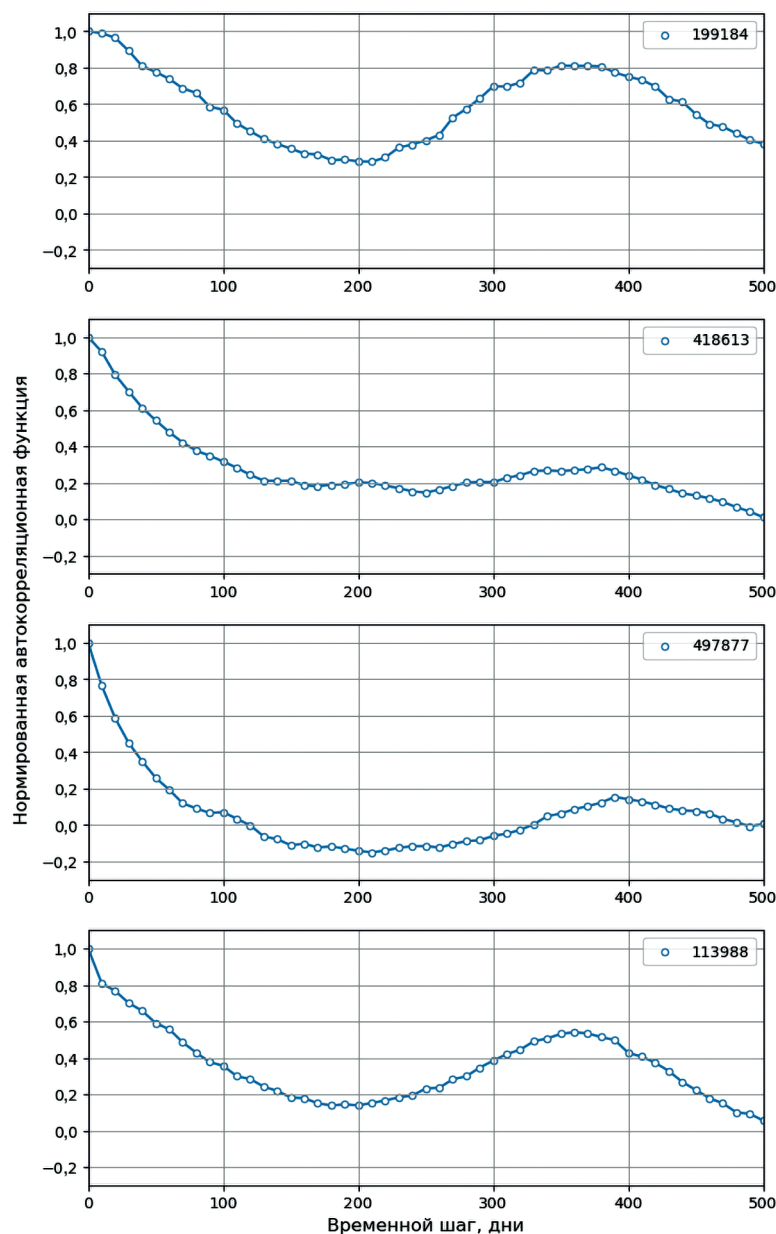


Рис. 4. Автокорреляционные функции (период до 500 дней)

При этом необходимо отметить, что в открытой части Тихого океана можно констатировать существенные различия полученного значения с предшествующими исследованиями. В работе (Kuragano, Kamachi, 2000) в открытой части Тихого океана параметр затухания автокорреляционной функции по оси времени составлял 52 дня, в то же время в настоящем исследовании получена существенно более высокая оценка, составляющая 100 дней. Вероятно, эта значительная разница в оценках временной релаксации изменчивости в регионе определяется, в первую очередь, разницей в подходах: в исследовании (Kuragano, Kamachi, 2000) реализовано существенное пространственное усреднение рассматриваемых параметров.

Влияние корректного устранения приливной составляющей

В работе (Шевченко, Романов, 2023) анализировалась корректность оценки приливной составляющей в Дальневосточном регионе Российской Федерации с учётом результатов работы (Романов, Романов, 2023), где восстанавливалось поле среднего значения высоты

морской поверхности по всей информации, доступной в архиве IMMOAD v5.1. Было показано, что необходимо проводить дополнительную региональную коррекцию приливов, особенно в динамически активной части акватории Тихого океана (Шевченко, Романов, 2023).

На *рис. 5* представлены временные ряды аномалий высоты морской поверхности до и после дополнительной коррекции приливной компоненты. Видно, что изменения амплитуды вариаций аномалий высоты морской поверхности не инвариантны относительно географического региона. В открытой части Японского моря и Тихого океана изменения аномалий невелики. В точке 199184 они составляют единицы сантиметров, в точке 113988 аномалии остались практически неизменными. При этом в динамичных областях акватории Тихого океана изменения более значимы, и если у берегов о. Хоккайдо изменения амплитуды достигают 20 см (418613), то в области Северо-Тихоокеанского течения значения аномалий скорректировались на величины до 60 см. Аналогичные результаты были показаны в работе (Шевченко, Романов, 2004).

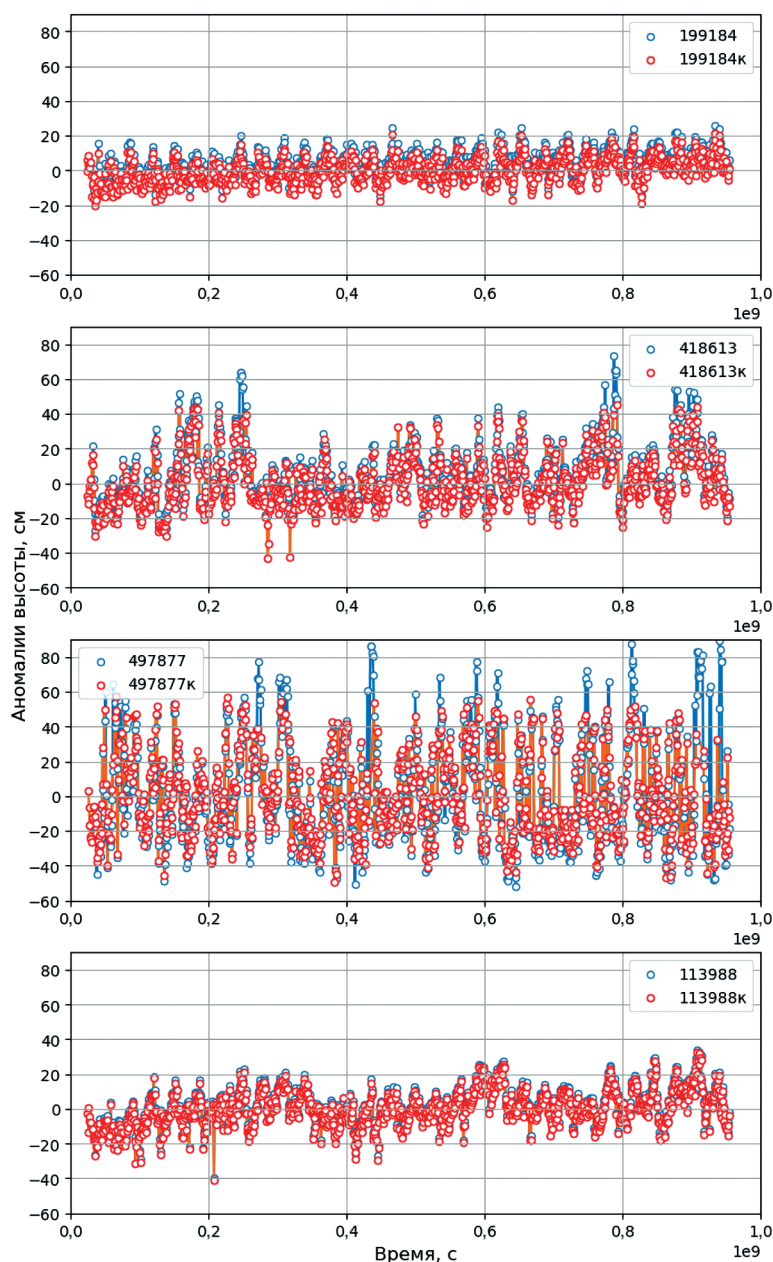


Рис. 5. Временные ряды аномалий высоты морской поверхности в выбранных точках (синяя линия — без коррекции, красная — с дополнительной коррекцией приливной компоненты)

Необходимо было проанализировать, оказывает ли неучтённая приливная составляющая в регионе какое-либо влияние на статистические параметры измеренного временного ряда.

На рис. 6 и 7 представлен ход автокорреляционной функции для точек 418613 и 497877 для всего временного периода и для периода в 500 сут. Именно в этих точках наблюдаются максимальные изменения аномалий высоты морской поверхности, полученные после дополнительной процедуры коррекции приливной составляющей.

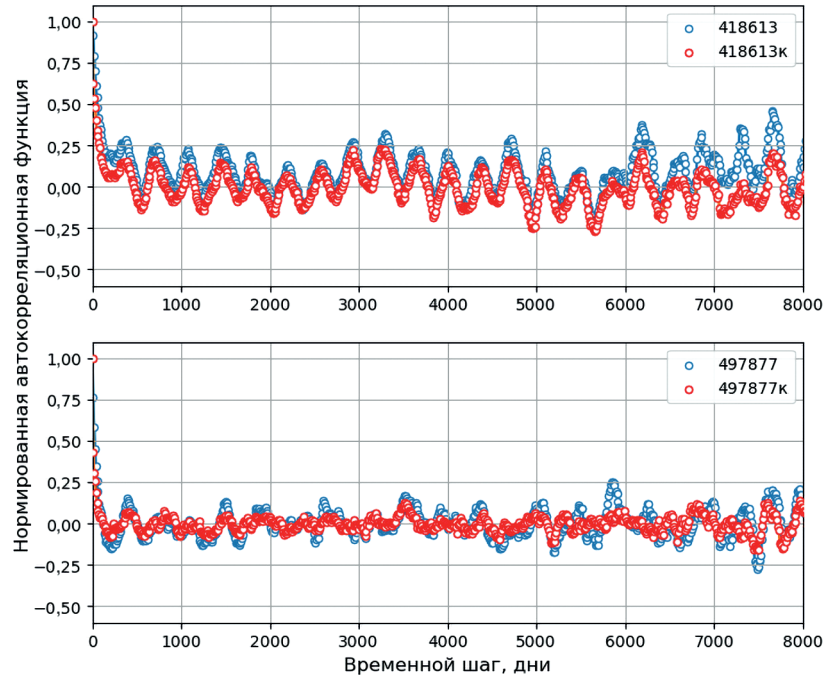


Рис. 6. Автокорреляционные функции в точках 418613 и 497877, период 500 сут (синяя линия — без коррекции, красная — с дополнительной коррекцией приливной компоненты)

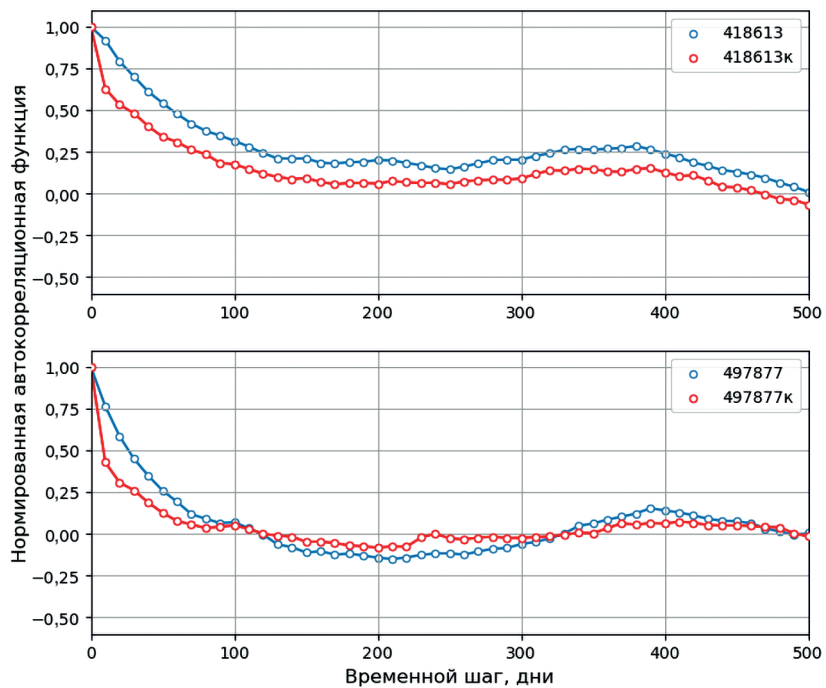


Рис. 7. Автокорреляционные функции в точках 418613 и 497877, период 500 сут (синяя линия — без коррекции, красная — с дополнительной коррекцией приливной компоненты)

Анализируя ход кривых (см. *рис. 6*), можно констатировать, что автокорреляционные функции, построенные по скорректированным данным, имеют меньшие значения по сравнению со значениями исходной функции. Изменения составляют от 20 до 50 %, существенно изменился ход кривой на больших временных расстояниях (особенно в точке 418613). Необходимо отметить, что изменение хода кривой автокорреляционной функции при больших временных расстояниях не оказывает определяющего влияния на восстановление пространственно-временного распределения аномалий высоты морской поверхности,

При этом важны изменения параметров радиуса временной корреляции и периода затухания функции в e раз. Здесь (см. *рис. 7*) наблюдаются следующие изменения: в точке 418813 (о. Хоккайдо) радиус корреляции изменился незначительно, а период затухания в e раз уменьшился в полтора раза и составил порядка 40 км. В точке 497877 (зона Северо-Тихоокеанского течения) период затухания уменьшился ещё сильнее и составил 20 км, радиус корреляции — 100 км (не изменился по отношению к исходной функции корреляции по данным без дополнительной коррекции).

Заключение

В заключении отметим, что в настоящем исследовании представлены предварительные результаты статистического анализа временных рядов аномалий высоты морской поверхности, полученных при помощи спутниковых альтиметров для выбранных точек акватории Японского моря и северо-западной части Тихого океана. Автокорреляционная функция демонстрирует существенный временной ход изменения аномалий уровня поверхности океана, чётко выражена годовая компонента.

Проведённое исследование показало, что основные параметры временных автокорреляционных функций в дальневосточной акватории Тихого океана, полученные на основе почти 30-летнего ряда измерений, существенно варьируются в зависимости от региона акватории. Радиус временной корреляции составляет 120 дней (причём это значение получено только для точки 497899, для прочих точек оно существенно выше — превышает 500 дней), период затухания в e раз варьируется от 40 до 100 дней в зависимости от региона акватории.

Подобный характер изменчивости статистических параметров для разных частей акватории в очередной раз показывает важность оценки региональных параметров автокорреляционной функции, используемой для последующего восстановления пространственно-временного распределения аномалий высоты морской поверхности по данным спутниковой альтиметрии. Отметим, что непосредственные оценки временной изменчивости могут подвергнуться изменениям при учёте большего количества точек в регионах исследования.

Вместе с тем можно сделать вывод, что существенное влияние на оценку вышеуказанных параметров оказывает корректная оценка приливной компоненты при определении значений аномалий высоты морской поверхности по данным спутниковой альтиметрии. При сохранении значений радиуса временной корреляции период затухания автокорреляционной функции в e раз, построенной по скорректированной информации, уменьшается в 1,5–2 раза.

Литература

1. Гандин Л. С. Объективный анализ метеорологических полей. Л.: Гидрометеорологическое изд-во 1963. 288 с.
2. Полонский А. Б., Шокурова И. Г. Статистическая структура крупномасштабных полей температуры и солёности в Черном море // Морской гидрофиз. журн. 2008. № 1. С. 51–65.
3. Романов А. А., Романов А. А. Особенности циркуляции северо-западной части Тихого океана по данным спутниковой альтиметрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 5. С. 232–245. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-232-245.
4. 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. С. 89–97.

5. Шевченко Г. В., Романов А. А. Определение характеристик прилива в Охотском море по данным спутниковой альтиметрии // Исслед. Земли из космоса. 2004. № 1. С. 49–62.
6. Шевченко Г. В., Романов А. А. О значении приливной коррекции для расчёта средних поверхностей уровня моря по данным спутниковой альтиметрии IMMOAD SSHA 2023 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 6. С. 80–91. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-6-80-91.
7. Beckley B., Ray R., Zelensky N. *et al.* Integrated multi-mission ocean altimeter data for climate research TOPEX/Poseidon, Jason-1, 2, and 3: User's handbook. Version 5.1. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 2021. 47 p. DOI: 10.5067/ALTCY-TJA51.
8. Benada R. PO.DAAC merged GDR (T/P) users handbook. Rep. JPL D-11007. Pasadena: Jet Propul. Lab. 1993. 111 p.
9. Gareth J., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An introduction to statistical learning: with applications in R. Springer, 2021. 440 p. DOI: 10.1080/24754269.2021.1980261.
10. Jacobs G. A., Baron C. N., Rodes R. C. Mesoscale characteristics // J. Geophysical Research. 2001. V. 105. Iss. C9. P. 19581–19595. <https://doi.org/10.1029/2000JC000669>.
11. Kuragano N., Kamachi M. Global statistical space-time scales of oceanic variability estimated from the TOPEX/Poseidon altimeter data // J. Geophysical Research. 2000. V. 105. Iss. C1. P. 955–974. DOI: 10.1029/1999JC900247.
12. Le Traon P. Y. Time scales of mesoscale variability and their relationship with space scales in the North Atlantic // J. Marine Research. 1991. V. 49. P. 467–492. DOI: 10.1357/002224091784995828.
13. Le Traon P. Y., Rouquet M. C., Boissier C. Space scales of mesoscale variability in the North Atlantic as deduced from Geosat data // J. Geophysical research. 1990. V. 95. Iss. C11. P. 20267–20285. <https://doi.org/10.1029/JC095iC11p20267>.
14. Romanov A. A., Fefilov Y. V., Romanov A. A. Multi-satellite oceanographic monitoring in Far East Region as a part of monitoring, control and surveillance system for Russian fisheries fleet: Preliminary results // Proc. 4th Intern. Workshop on Ocean Color. 2001. P. 225–234.

Determination of the main parameters of the temporal autocorrelation function of surface level anomalies at some points in the Far Eastern Pacific Ocean

A. A. Romanov¹, A. A. Romanov¹, G. V. Shevchenko²

¹ AO Central Research Institute for Machine Building
Korolev, Moscow Region 141070, Russia
E-mail: romanovaa@tsniimash.ru

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Sakhalin Branch
Yuzhno-Sakhalinsk 693023, Russia

The main problem when using optimal interpolation approaches to reconstruct the fields of spatial distribution of sea surface height anomalies is the search for the main parameters and the type of spatiotemporal autocorrelation functions, which significantly depend on the studied water areas. The use of autocorrelation functions that describe statistics for the world ocean as a whole can lead to significant interpolation errors when reconstructing the spatial distributions of sea surface height anomalies from satellite altimetry data. A study of temporal correlation functions was carried out using data from the TOPEX/Poseidon and Jason-1/2/3 spacecrafts for several selected points of subsatellite tracks in the Pacific Ocean and adjacent seas. The values of the e-folding parameter of the autocorrelation function are presented for the Sea of Japan (150 days) and various parts of the Pacific Ocean, including areas of the North Pacific Current. It is shown that the corresponding values vary from 40 to 100 days, and the influence of the tidal component on the main parameters of the temporal autocorrelation function is considered. Time variability of sea surface height anomalies obtained from satellite data at selected points is analyzed, and some trends are shown. At all points considered, an increase in the values of the studied quantity by at least 20 cm over 30 years is observed.

Keywords: satellite altimetry, time correlation function, time variability statistical characteristics

Accepted: 12.10.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-5-36-46

References

1. Gandin L. S., *Ob'ektivnyi analiz meteorologicheskikh polei* (Objective analysis of the meteorology fields), Leningrad: Gidrometeorologicheskoe izd., 1963, 288 p. (in Russian).
2. Polonskii A. B., Shokurova I. G., Statistical structure of the large-scale fields of the temperature and salinity in the Black Sea, *Physical Oceanography*, 2008, Vol. 18, No. 1, pp. 38–51, DOI: 10.1007/s11110-008-9008-4.
3. Romanov A. A., Romanov A. A., Features of the circulation of the northwestern Pacific Ocean according to satellite altimetry data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 5, pp. 232–245 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-232-245.
4. 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, *Kosmonavtika i raketostroenie*, 2024, No. 3, pp. 89–97 (in Russian).
5. Shevchenko G. V., Romanov A. A., Tide characteristics determination on the basis of satellite altimetry data in Okhotsk sea, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2004, No. 1, pp. 49–62 (in Russian).
6. 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, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 6, pp. 80–91 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-6-80-91.
7. Beckley B., Ray R., Zelensky N. et al., *Integrated multi-mission ocean altimeter data for climate research TOPEX/Poseidon, Jason-1, 2, and 3. User's handbook. Version 5.1.* Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 2021, 47 p., DOI: 10.5067/ALTCY-TJA51.
8. Benada R., *PO.DAAC merged GDR (T/P) users handbook. Rep. JPL D-11007*, Pasadena: Jet Propul. Lab., 1993, 111 p.
9. Gareth J., Witten D., Hastie T., Tibshiran R., *An introduction to statistical learning: with applications in R*, Springer, 2021, 440 p., DOI: 10.1080/24754269.2021.1980261.
10. Jacobs G. A., Baron C. N., Rodes R. C., Mesoscale characteristics, *J. Geophysical Research*, 2001, Vol. 105, Issue C9, pp. 19581–19595, <https://doi.org/10.1029/2000JC000669>.
11. Kuragano N., Kamachi M., Global statistical space-time scales of oceanic variability estimated from the TOPEX/Poseidon altimeter data, *J. Geophysical Research*, 2000, Vol. 105, Issue C1, pp. 955–974, DOI: 10.1029/1999JC900247.
12. Le Traon P. Y., Time scales of mesoscale variability and their relationship with space scales in the North Atlantic, *J. Marine Research*, 1991, Vol. 49, pp. 467–492, DOI: 10.1357/002224091784995828.
13. Le Traon P. Y., Rouquet M. C., Boissier C., Spatial scales of mesoscale variability in the North Atlantic as deduced from Geosat data, *J. Geophysical Research*, 1990, Vol. 95, Issue C11, pp. 20267–20285. <https://doi.org/10.1029/JC095iC11p20267>.
14. Romanov A. A., Fefilov Y. V., Romanov A. A., Multi-satellite oceanographic monitoring in Far East Region as a part of monitoring, control and surveillance system for Russian fisheries fleet: Preliminary results, *Proc. 4th Intern. Workshop on Ocean Color*, 2001, pp. 225–234.