

Основные параметры модели мезомасштабной изменчивости Охотского моря по данным спутниковой альтиметрии

А. А. Романов, А. А. Романов

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

Настоящее исследование направлено на определение параметров модели мезомасштабной изменчивости Охотского моря по данным спутниковой альтиметрии. Использован методический подход, позволяющий оценить пространственно-временные характеристики, определяющие мезомасштабную изменчивость поверхности акватории Охотского моря в предположении, что последняя описывается зависимостью в виде функции Гаусса. В качестве исходной информации использован массив данных альтиметрических космических аппаратов TOPEX/Poseidon (англ. Topographic Experiment/Poseidon) и Jason-1, -2, -3, содержащий измерения аномалий высоты морской поверхности с 1992 по 2022 г. На основе указанной информации на пространственной сетке $2 \times 2^\circ$ для регионов $10 \times 10^\circ$ в акватории Охотского моря были построены пространственно-временные автокорреляционные функции, определены параметры функции для каждого узла сетки и получено пространственное распределение соответствующих характеристик мезомасштабной изменчивости распределения аномалии высоты морской поверхности Охотского моря. Было показано, что характерные радиусы неоднородностей для акватории Охотского моря составляют 63 и 74 км по долготе и широте соответственно, а время существования — порядка 54 дней. Присутствует небольшое перемещение неоднородностей в западном и северном направлении, но скорость перемещения не превышает 0,26 см/с по каждой из компонент скорости движения.

Ключевые слова: спутниковая альтиметрия, оптимальная интерполяция, параметры модели мезомасштабной изменчивости, Охотское море, многомерная корреляционная функция

Одобрена к печати: 25.02.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-233-243

Введение

Большинство альтиметрических измерений высоты поверхности океана до сего момента осуществлялось в точках подспутникового трека космического аппарата, изомаршрутный цикл которого формируется, исходя из баллистических особенностей его орбиты. Подобное пространственно-временное распределение исходной информации требует использования различных алгоритмов интерполяции альтиметрических данных для восстановления непрерывного пространственного распределения аномалии высоты морской поверхности для определённого момента времени.

Для восстановления пространственного распределения аномалий высоты морской поверхности (здесь и далее будет использоваться этот термин, хотя, строго говоря, в работе (Beckley et al., 2021) допущена ошибка и корректнее говорить об аномалиях уровня) в выбранных акваториях Мирового океана применяются различные методики аппроксимации альтиметрических данных (Куницын, Романов, 2004), что позволяет восстанавливать пространственное распределение аномалий высоты морской поверхности (Романов, Романов, 2023), наибольшее распространение получили подходы (Bretherton et al., 1976; Le Traon et al., 1998), построенные на основе метода оптимальной интерполяции (Гандин, 1963). Ключевым аспектом использования оптимальной интерполяции альтиметрических данных является знание статистических особенностей восстанавливаемых полей. В работе (Le Traon et al., 1998), например, предлагается использование функции корреляции из исследования (Le Traon, De Mey, 1994). Подобные обобщённые функции будут, вполне возможно, неплохо описывать глобальную изменчивость в открытых акваториях Мирового океана, но для прибрежных

акваторий, обладающих своими особенностями месячной и сезонной циркуляции, будут вносить существенные ошибки.

Целью настоящего исследования стала оценка статистических характеристик мезомасштабной изменчивости поверхности Охотского моря, которые могли бы быть использованы для восстановления пространственного распределения аномалии морской поверхности, полученного по данным спутниковых альтиметров TOPEX/Poseidon (англ. Topographic Experiment/Poseidon) и Jason-1, -2, -3.

В настоящей работе, по аналогии с публикацией (Jacobs et al., 2001), сделано принципиальное предположение о том, что мезомасштабная изменчивость в акватории описывается функциональной зависимостью следующего вида:

$$R(x, y, t) = a^2 \exp \left\{ - \left[\frac{(x - ut)^2}{L_x^2} + \frac{(y - vt)^2}{L_y^2} + \frac{t^2}{T^2} \right] \right\},$$

где x , y , t — лаги по долготе, широте и времени; L_x , L_y , T — масштаб затухания функции в e раз по каждой из компонент; u , v — скорость перемещения неоднородностей в долготном и широтном направлении соответственно.

Таким образом, для формирования статистической модели мезомасштабной изменчивости в Охотском море необходимо определить неизвестные коэффициенты введённой функциональной зависимости на основе рассчитанной по реальной альтиметрической информации автокорреляционной функции, характеризующей реальное состояние исследуемых водных масс.

Подготовка данных

На первом этапе из данных IMMOAD v5.1 (англ. Integrated Multi-Mission Ocean Altimeter Data for Climate Research) (Beckley et al., 2021) осуществлялась выборка альтиметрической информации, которая относится исключительно к акватории Охотского моря, информация по открытой части Тихого океана или Японского моря была исключена, таким образом был сформирован исходный массив данных для последующей обработки. Подобная операция делается для того, чтобы исключить влияние динамики вод соседних бассейнов Мирового океана на результаты исследования изменчивости поверхности в выбранной акватории (Jacobs et al., 2001).

По аналогии с работой (Jacobs et al., 2001) в акватории Охотского моря была введена сетка узлов (рис. 1, см. с. 235), в которых проводился расчёт автокорреляционной функции аномалии высоты морской поверхности. Для каждого узла осуществлялась выборка данных исходного массива, попадающего в регион $10 \times 10^\circ$ по долготе и широте для всех альтиметрических циклов.

Был проведён анализ аномалии высоты морской поверхности, попавшей в область вокруг каждого узла. Распределение аномалии для двух узлов в западной и восточной части акватории Охотского моря представлены на рис. 2а и в (см. с. 235). Несмотря на то, что выборка информации из IMMOAD v5.1 осуществлялась в строгом соответствии с рекомендациями работ (Beckley et al., 2021; Benada, 1993), распределение аномалии демонстрирует наличие явных «выбросов» — очень больших по модулю значений аномалий высоты для каждого из узлов.

Был проведён статистический анализ выборок, и выбросы были устранены простейшим методом «межквартильного диапазона». Затем с учётом рекомендаций (Beckley et al., 2021) для устранения высокочастотного шума осуществлена фильтрация данных вдоль каждого трека космического аппарата с использованием низкочастотного фильтра Батерворта. Полоса фильтрации была настроена таким образом, чтобы исключить все составляющие с длиной волны меньше 60 км. В результате получены ряды данных, расположившиеся в диапазоне от -35 до 35 см (см. рис. 2б и г).

Из анализа распределения (см. рис. 2б и г) видно, что среднее значение выборок отлично от 0. Вполне вероятно, что причина подобного поведения данных кроется в ограниченности выборки (по пространству) для каждого отдельного рассматриваемого узла, но анализ, проведённый в работе (Шевченко, Романов, 2023), показывает, что проблема гораздо шире и возможно кроется в некоторых аспектах обработки альтиметрической информации массива IMMOAD v5.1. При использовании методов восстановления пространственного распределения на основе оптимальной интерполяции следует внимательно относиться к значению среднего по выборке. Если она будет отлична от 0, то метод восстановления информации несколько усложняется, а также повышаются ошибки интерполяции (Гандин, 1963).

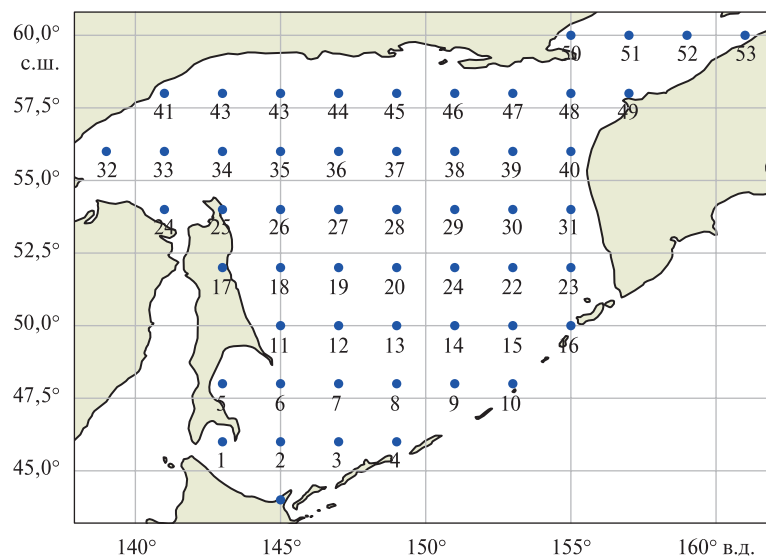


Рис. 1. Распределение узлов сетки $2 \times 2^\circ$ для расчёта параметров автокорреляционной функции

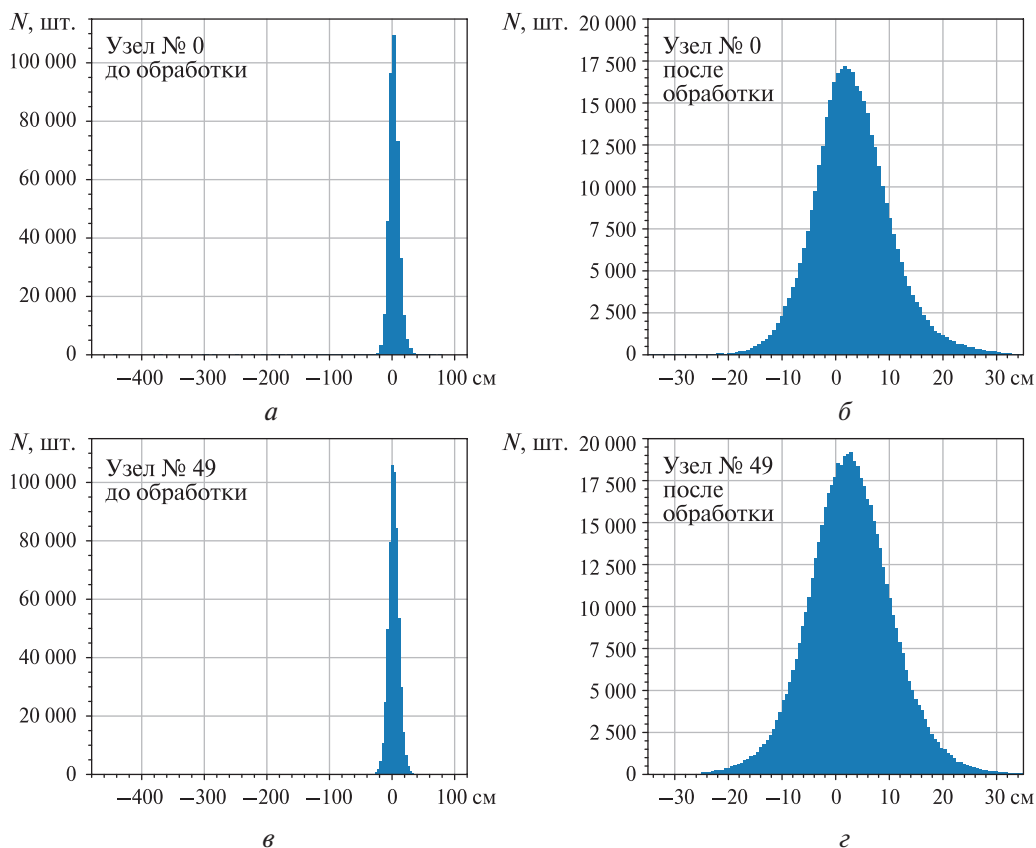


Рис. 2. Распределение аномалии высоты морской поверхности

Далее, по выбранным данным для каждого узла проводился расчёт сгруппированной автокорреляционной функции аномалии высоты морской поверхности (*англ.* binned covariance function) в соответствии с подходом, предложенным в исследовании (Гандин, 1963) и использованном в работах (Романов, Романов, 2024; Jacobs et al., 2001). Следует отметить, что строилась автокорреляционная функция по трём независимым переменным — расстояниям (лагам) — по времени, широте и долготе. Размер «корзин» по времени составлял 2,5 дня, 10 км по долготе и 10 км по широте. Автокорреляционная функция строилась для региона 800×800 км с центром в узловой точке. Максимальный лаг по времени составлял 80 дней. Учитывая симметричность автокорреляционной функции по оси времени, рассматривались исключительно положительные значения расстояний.

Модель изменчивости и пространственное распределение параметров

Для примера приведём многомерную автокорреляционную функцию, рассчитанную по реальной альтиметрической информации для области вокруг узла № 0 с координатами $42,5^\circ$ с. ш., 145° в. д. рядом с островом Хоккайдо (*рис. 3*).

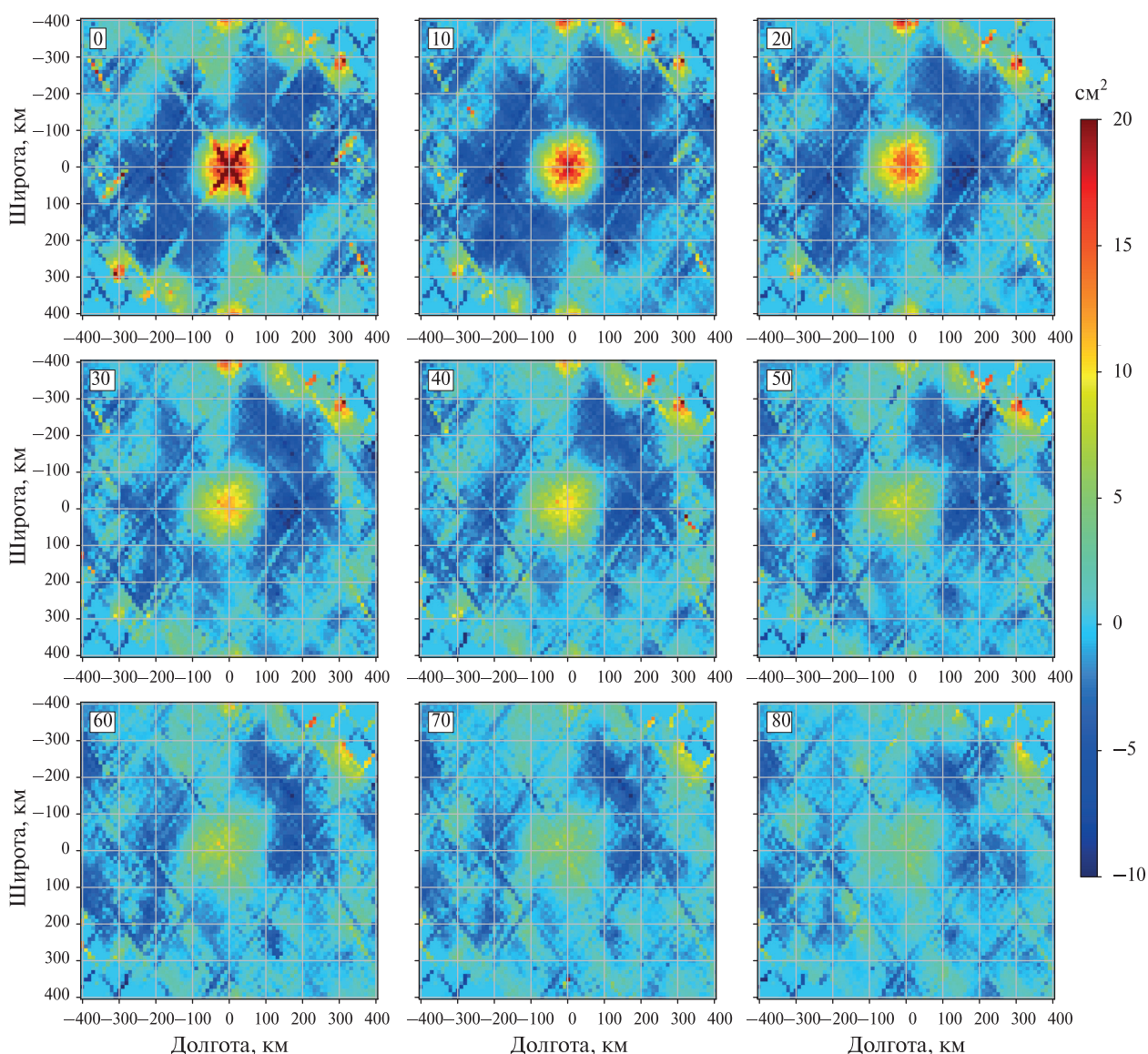


Рис. 3. Рассчитанная автокорреляционная функция в акватории Охотского моря. Узел № 0. Отображается временной лаг от 0 до 80 дней

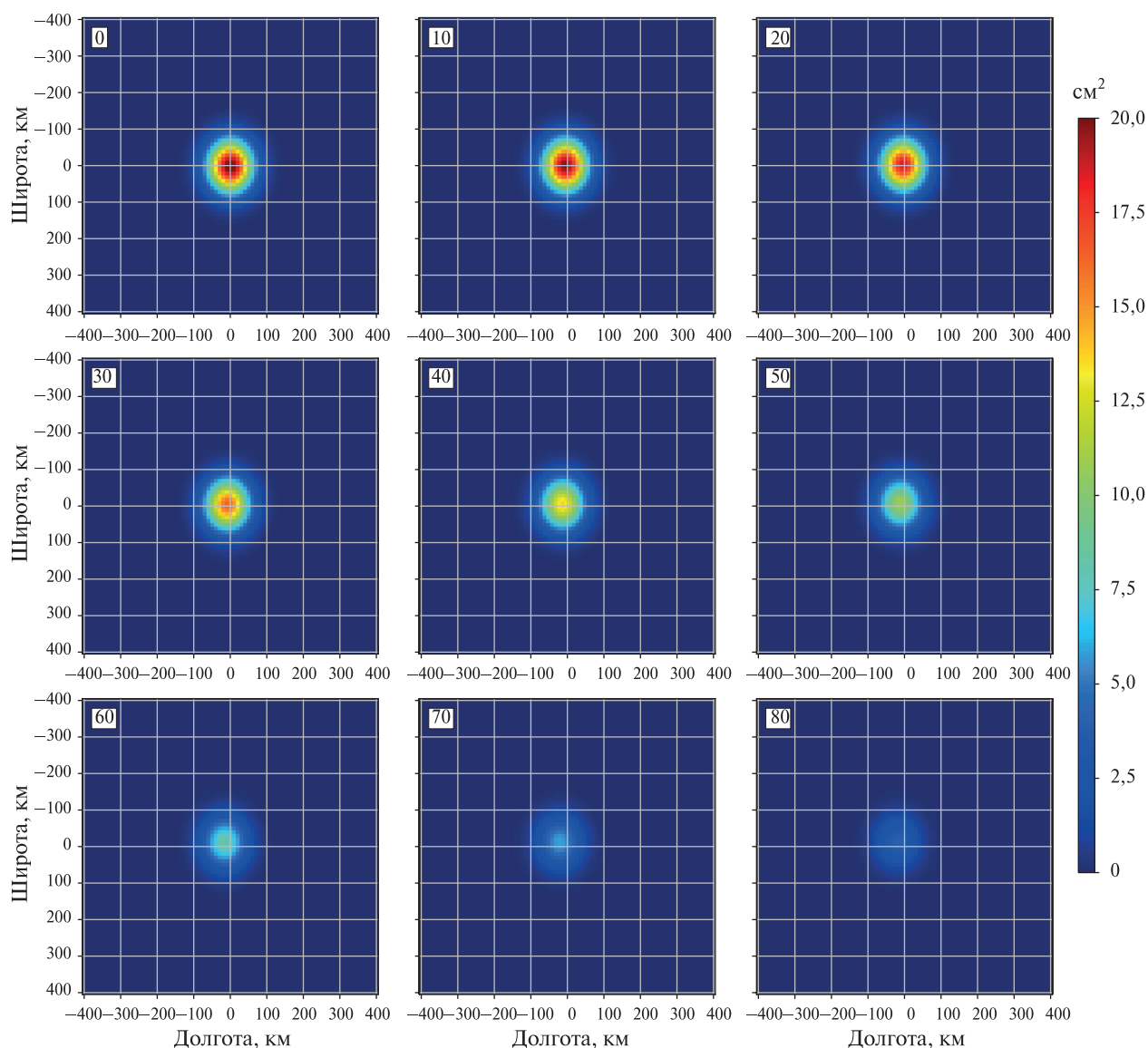


Рис. 4. Модель автокорреляционной функции в акватории Охотского моря.
Узел № 0. Отображается временной лаг от 0 до 80 дней

На пространственном распределении автокорреляционной функции, представленном для временных лагов 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 дней, видно, что в выбранном регионе присутствуют неоднородности аномалии высоты морской поверхности с характерными геометрическими размерами 200×200 км по долготе и широте соответственно, с постепенно затухающей во времени амплитудой от 4,5 см (лаг 0) до 1 см (лаг 80). Следует отметить, что каких-либо значимых перемещений неоднородностей аномалии высоты в этом регионе акватории не наблюдается.

Соответствующая модель реальной расчётной автокорреляционной функции для аналогичного пространственного узла представлена на рис. 4. Параметры функции, которой была аппроксимирована расчётная пространственно-временная функция автокорреляции аномалий высоты морской поверхности в регионе для узла № 0, следующие: $a = 4,53$ см, $L_x = 61,48$ км, $L_y = 71,31$ км, $T = 62,86$ дня, $u = -0,26$ см/с, $v = -0,18$ см/с.

Перейдём к анализу пространственного распределения параметров модельной автокорреляционной функции для всей акватории Охотского моря. Как говорилось выше, модель мезомасштабной изменчивости строилась на основе предположения, что она хорошо описывается функцией Гаусса. Типичное значение амплитуды вихревых образований варьируется от 1,6 до 5,65 см (рис. 5, см. с. 238).

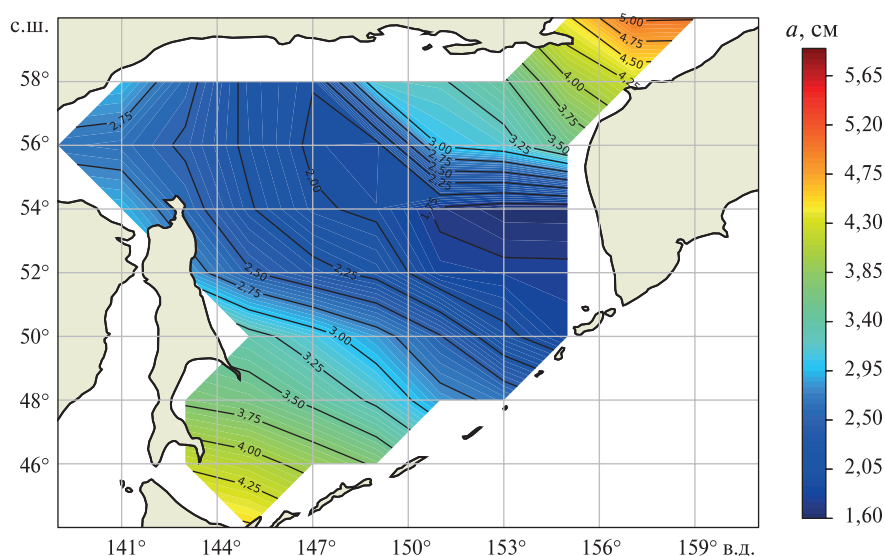


Рис. 5. Распределение амплитуды автокорреляционной функции

Максимумы значений наблюдаются на юго-западе (в районе острова Хоккайдо) и северо-востоке акватории (залив Шелихова), минимум — в центральной части Охотского моря. Вполне вероятно, что подобное поведение определяется особенностями сезонной циркуляции исследуемой акватории (Шевченко, Романов, 2006).

Для параметра T (масштаб затухания функции в e раз по времени) наблюдается несколько более сложный характер пространственного распределения (рис. 6). Вся северо-восточная часть акватории, включая залив Шелихова, характеризуется экстремально минимальными значениями временного масштаба T , значения не превышают 20 дней. Анализ распределения пространственно-временных автокорреляционных функций для узлов этого региона действительно характеризуется явным отсутствием существенно выраженной изменчивости с высоким временем релаксации, несмотря на высокую амплитуду.

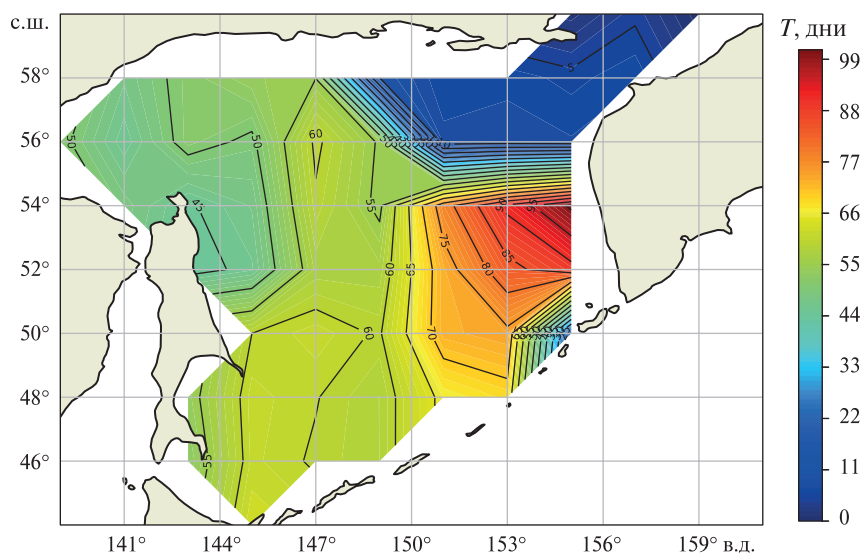


Рис. 6. Масштаб затухания автокорреляционной функции в e раз по времени T

Бесспорно, количество исходной альтиметрической информации в этой части акватории невелико (очень близко находится береговая линия), однако совершенно аналогичная ситуация (с точки зрения количества исходной информации) складывается в юго-западной части

у берегов островов Сахалин и Хоккайдо. Тем не менее в этих регионах масштаб изменения амплитуды вихрей в e раз T выше и составляет не менее 60 дней. Максимум времени релаксации наблюдается у юго-западного побережья полуострова Камчатка, здесь значения T составляют до 100 дней.

Пространственное распределение масштабов затухания в e раз функции по долготе и широте (L_x и L_y соответственно) представлены на *рис. 7* и *8*. В северо-восточной части картинка во многом совпадает с поведением параметра T . Наблюдаются минимальные значения L_x и L_y , составляющие порядка 30 км для двух параметров с некоторым увеличением значений в северной части (до 60 км).

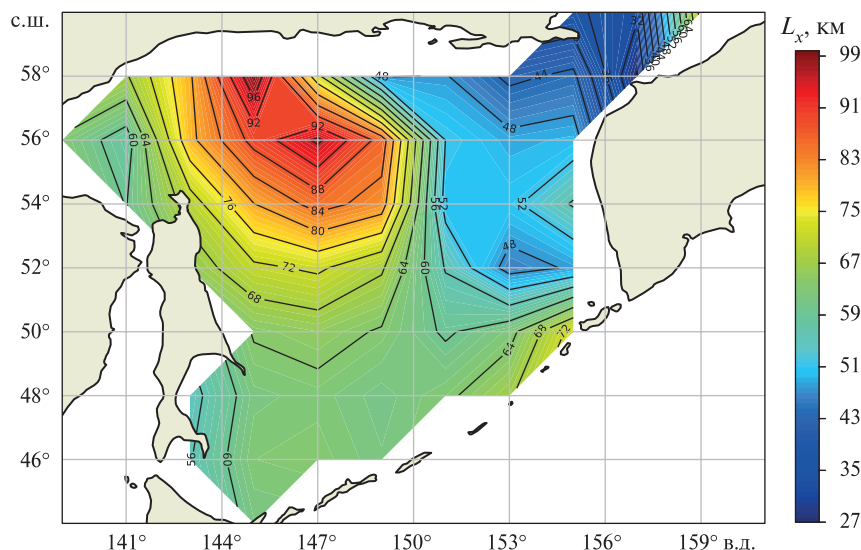


Рис. 7. Масштаб затухания автокорреляционной функции в e раз по долготе L_x

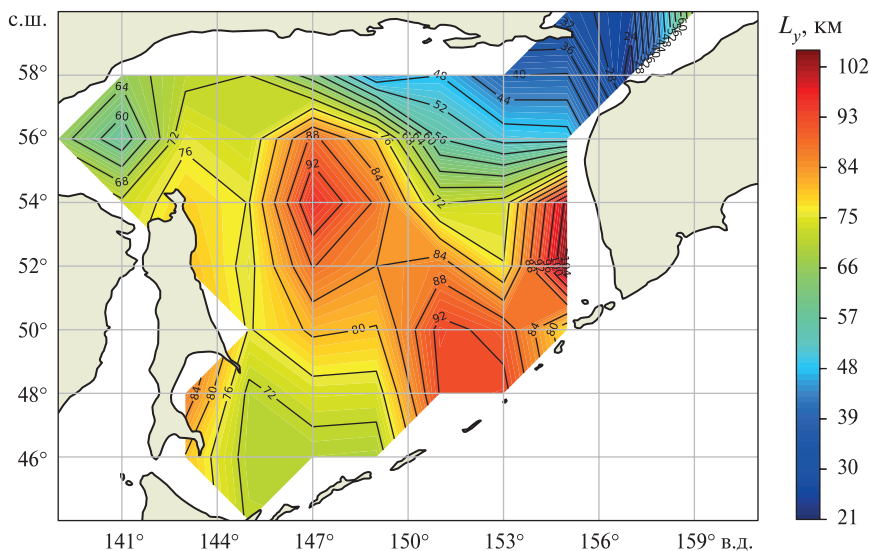


Рис. 8. Масштаб затухания автокорреляционной функции в e раз по широте L_y

Максимум параметра L_x наблюдается в северо-западной части акватории и достигает 100 км. Южная часть акватории характеризуется средними величинами рассматриваемого параметра — 60–70 км, которые плавно уменьшаются к западному побережью Камчатки до 50 км.

Значения параметра L_y распределены в восточной части несколько иначе. У западного побережья Камчатки наблюдаются достаточно высокие значения, достигающие 100 км и выше, локальный максимум в центральной части акватории несколько смещён в южном направлении относительно значений L_x , значения несколько ниже и не превышают 92 км. Относительный минимум присутствует в северо-западной части Охотского моря в Сахалинском заливе и в районе Шантарских островов, значения в этом регионе не превышают 60 км для масштаба затухания функции в e раз по долготе.

Анализ распределения компонент скорости показывает, что значения u и v не превышают 2 см/с по модулю, следовательно, скорость перемещения невелика и существенной не является (рис. 9 и 10). Можно предположить, что в модели изменчивости можно игнорировать указанные параметры без существенного влияния на точность расчётов. Бесспорно, это предположение следует проверить в будущих исследованиях.

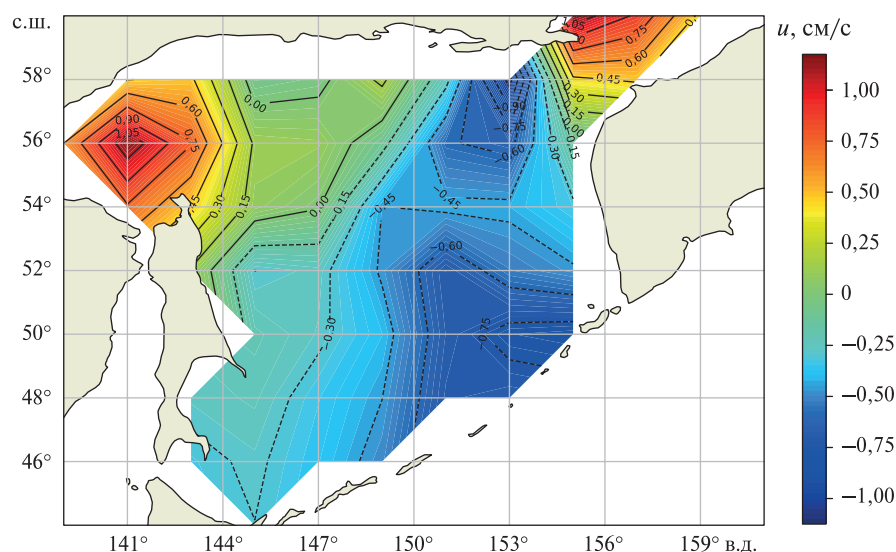


Рис. 9. Распределение скорости переноса по долготе — u . Положительные значения характеризуют перенос на восток, отрицательные — на запад

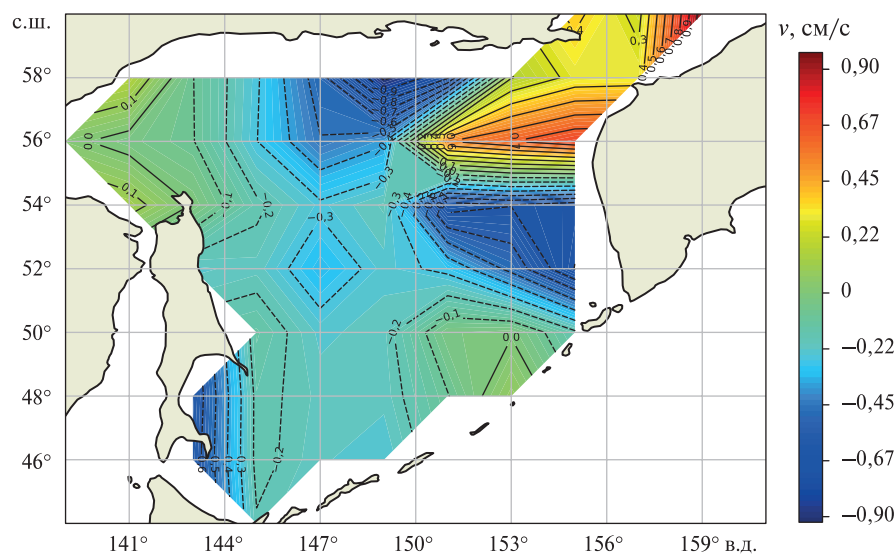


Рис. 10. Распределение скорости переноса по широте — v . Положительные значения характеризуют перенос на север, отрицательные — на юг

Локальные зоны максимума для меридиональной составляющей скорости переноса u наблюдаются в северо-восточной (залив Шелихова) и северо-западной части (Шантарское море, Сахалинский залив), при этом значения составляют не более 1 см/с. Минимальные значения параметра u наблюдаются в центральной части акватории, они не превышают $-0,75$ см/с.

Распределение параметра v (скорость зонального переноса) в целом характеризуется схожими с меридиональной составляющей модулями абсолютных значений, при этом практически во всей акватории (кроме северо-западной части) значения близки к нулевым. В северной части залива Шелихова наблюдаются максимальные значения v (до 0,9 см/с), чуть южнее 54° с. ш. у западного побережья Камчатки — около $-0,8$ см/с. Более существенный перенос в южном направлении обнаруживается в северной части акватории и составляет до $-0,9$ см/с.

Проведённый анализ пространственного распределения параметров модели мезомасштабной изменчивости в акватории Охотского моря показывает, что оно существенно неоднородно в пространстве. Строго говоря, для достижения минимальных ошибок оптимальной интерполяции, по всей видимости, следует учитывать этот факт и применять различные коэффициенты модельной функции для разных частей акватории Охотского моря.

При этом проведённое исследование позволило получить типичные значения модели, характеризующие мезомасштабную изменчивость в рассматриваемом регионе. Модель мезомасштабной изменчивости акватории Охотского моря в целом характеризуется следующим соотношением:

$$R(x, y, t) = 2,85^2 \exp \left\{ - \left[\frac{(x + 0,23t)^2}{62,72^2} + \frac{(y + 0,19t)^2}{73,53^2} + \frac{t^2}{54,20^2} \right] \right\}.$$

Именно это соотношение следует применять при использовании алгоритмов оптимальной интерполяции альтиметрической информации, представленной в IMMOAD v5.1.

Заключение

Восстановление пространственного распределения аномалии высоты морской поверхности с использованием различных алгоритмов интерполяции или аппроксимации исходной информации будет необходимо осуществлять для изучения состояния свойств Мирового океана ещё достаточно значительное время. Как минимум, несколько десятков лет потребуется спутниковым высотным интерферометрам для формирования массивов информации, аналогичных по объёму и охвату наборам классических альтиметрических наблюдений. Применение методов оптимальной интерполяции в перспективе сохранит свою актуальность.

Оптимальная интерполяция требует хорошего знания статистических особенностей восстанавливаемого ряда: в этом смысле, текущие объёмы альтиметрической информации (практически 30 лет альтиметрических измерений в IMMOAD v5.1 глобально по всему миру) позволяют изучать и строить модели мезомасштабной изменчивости для интересующих акваторий Мирового океана, снижая ошибки интерполяции.

В настоящем исследовании была построена модель мезомасштабной изменчивости Охотского моря в предположении о её функциональном виде и получены необходимые коэффициенты автокорреляционной функции для её дальнейшего использования при восстановлении пространственного распределения аномалии высоты морской поверхности в выбранной акватории. Показано, что изменчивость характеризуется следующими характерными масштабами: радиусы затухания в e раз по долготе и широте около 63 и 74 км соответственно, время затухания в e раз порядка 54 дней и скорости перемещения не более 0,3 см/с.

Кроме этого, статистический анализ массива IMMOAD v5.1 выявил некоторые особенности данных для акватории Охотского моря. Необходимо отметить, что среднее значение аномалии высоты морской поверхности отлично от нулевого, т. е. исследуемый ряд является смещённым, что необходимо учитывать при восстановлении пространственного распределения аномалии высоты морской поверхности в исследуемом регионе.

Литература

1. Гандин Л. С. Объективный анализ метеорологических полей. Л.: Гидрометеорол. изд-во, 1963. 288 с.
2. Куницын В. Е., Романов А. А. Восстановление карт поверхности океана методом локальной сплайн аппроксимации с хаотично расположенными узлами // Радиотехника и электроника. 2004. Т. 49. № 4. С. 466–480.
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. Сезонная изменчивость циркуляции в верхнем слое Охотского моря по данным спутниковой альтиметрии // Метеорология и гидрология. 2006. № 8. С. 59–71.
6. Шевченко Г. В., Романов А. А. О значении приливной коррекции для расчёта средних поверхностных уровней моря по данным спутниковой альтиметрии IMMOAD SSHA // 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 Propulsion Laboratory, 1993. 111 p.
9. Bretherton F. P., Davis R. E., Fandry C. B. A technique for objective analysis and design of oceanographic experiments applied to MODE-73 // Deep-Sea Research. 1976. V. 23. P. 559–582. DOI: 10.1016/0146-6291(77)90032-7.
10. Jacobs G. A., Barron C. N., Rhodes R. C. Mesoscale characteristics // J. Geophysical Research: Oceans. 2001. V. 106. Iss. C9. P. 19581–19595. <https://doi.org/10.1029/2000JC000669>.
11. Le Traon P.-Y., De Mey P. The eddy field associated with the Azores Front east of the Mid-Atlantic Ridge as observed by the Geosat altimeter // J. Geophysical Research: Oceans. 1994. V. 99. Iss. C5. P. 9907–9923. DOI: 10.1029/93JC03513.
12. Le Traon P. Y., Nadal F., Ducet N. An improved mapping method of multisatellite altimeter data // J. Atmospheric and Oceanic Technology. 1998. V. 15. P. 522–534. DOI: 10.1175/1520-0426(1998)015<0522:AIMMOM>2.0.CO;2.

Main parameters of a mesoscale variability model of the Sea of Okhotsk based on satellite altimetry data

A. A. Romanov, A. A. Romanov

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

The present study is aimed at determining the parameters of a mesoscale variability model of the Sea of Okhotsk based on satellite altimetry data. A methodological approach has been used to estimate the spatiotemporal characteristics that determine mesoscale variability of the surface of the Sea of Okhotsk under the assumption that the latter is described by a Gaussian function. The initial information was an array of altimetry data from the TOPEX/Poseidon and Jason-1, -2, -3 spacecrafts containing measurements of sea surface height anomalies from 1992 to 2022. Based on this information, spatiotemporal autocorrelation functions were constructed on a $2 \times 2^\circ$ spatial grid for $10 \times 10^\circ$ regions in the Sea of Okhotsk. The function parameters were determined for each grid node, and spatial distributions of the corresponding characteristics of the mesoscale variability of the distributions of sea surface height anomalies in the Sea of Okhotsk were obtained. It was shown that the characteristic radii of irregularities for the water area of the Sea of Okhotsk were 63 and 74 km in longitude and lati-

tude, respectively, and the lifetime was about 54 days. There was a small movement of irregularities in the western and northern directions, but the speed of movement did not exceed 0.26 cm/s for each of the components of the speed of movement.

Keywords: satellite altimetry, optimal interpolation, mesoscale variability model parameters, Sea of Okhotsk, multivariate correlation function

Accepted: 25.02.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-2-233-243

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. Kunitsyn V. E., Romanov A. A., Reconstruction of ocean surface maps using local spline approximation with randomly located nodes, *Radiotekhnika i elektronika*, 2004, V. 49, No. 4, pp. 466–480 (in Russian).
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, V. 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., Seasonal variability of circulation in the upper layer of the Sea of Okhotsk based on satellite altimetry data, *Meteorologiya i gidrologiya*, 2006, No. 8, pp. 59–71 (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, V. 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 Propulsion Laboratory, 1993, 111 p.
9. Bretherton F. P., Davis R. E., Fandry C. B., A technique for objective analysis and design of oceanographic experiments applied to MODE-73, *Deep-Sea Research*, 1976, V. 23, pp. 559–582, DOI: 10.1016/0146-6291(77)90032-7.
10. Jacobs G. A., Barron C. N., Rhodes R. C., Mesoscale characteristics, *J. Geophysical Research: Oceans*, 2001, V. 106, Iss. C9, pp. 19581–19595, <https://doi.org/10.1029/2000JC000669>.
11. Le Traon P.-Y., De Mey P., The eddy field associated with the Azores front east of the Mid-Atlantic Ridge as observed by the Geosat altimeter, *J. Geophysical Research: Oceans*, 1994, V. 99, Iss. C5, pp. 9907–9923, DOI:10.1029/93JC03513.
12. Le Traon P.-Y., Nadal F., Ducet N., An improved mapping method of multisatellite altimeter data, *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, 1998, V. 15, pp. 522–534, DOI: 10.1175/1520-0426(1998)015<0522:AIMMOM>2.0.CO;2.