

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ,  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. М.В. ЛОМОНОСОВА

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи  
УДК 551.465.47:629.783

**Романов Александр Алексеевич**

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕЗОМАСШТАБНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
АНОМАЛИЙ ВЫСОТЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПО ДАННЫМ  
СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ

**Специальность 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва  
2004

Работа выполнена на кафедре физики атмосферы физического факультета  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

*Научный руководитель:*

доктор физико-математических наук, профессор В.Е. КУНИЦЫН

*Научный консультант:*

доктор технических наук, профессор А.А. РОМАНОВ

*Официальные оппоненты:*

доктор физико-математических наук, профессор В.В. ЖМУР

доктор физико-математических наук, профессор В.Б. ЛАПШИН

*Ведущая организация:*

Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»

Защита диссертации состоится «22» апреля 2004 г.

в 15 часов на заседании Диссертационного совета Д501.001.63

при МГУ им. М.В. Ломоносова по адресу: 119992 Москва, Ленинские горы,  
физический факультет, аудитория ЮФА

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке физического  
факультета МГУ.

Автореферат разослан «.....» .....2004 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д501.001.63

кандидат физ.-мат. наук

В.Б. Смирнов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность**

В последнее время все большую распространенность получают дистанционные средства исследования состояния поверхности Земли и в частности поверхности океана. Спектр задач по изучению океана чрезвычайно широк, от исследований мезомасштабных процессов, до изучения динамики его глобального уровня. До недавнего времени для решения подобных задач использовались контактные методы измерения различных океанологических характеристик с помощью научно – исследовательских судов, а также дрейфующих платформ.

Появление спутниковых систем изучения океана позволило существенно улучшить качество информационного обеспечения океанографического мониторинга, поскольку методы дистанционного зондирования имеют преимущество перед традиционными контактными методами. В первую очередь из-за оперативности получения данных, охватывающих весь регион исследований практически в режиме «реального времени».

На настоящий момент методы дистанционного зондирования поверхности океана, предназначенные для определения динамических характеристик морской поверхности, можно разделить на три группы: оптические, инфракрасные и микроволновые. Последние, к которым относится и спутниковая альтиметрия, имеют ряд серьезных преимуществ перед оптическими и инфракрасными методами исследований, главное из которых – всепогодность. Для микроволновых исследований облачность не представляет собой серьезной преграды, поэтому спутниковая альтиметрия может применяться в любых погодных условиях.

Главная характеристика динамики морской поверхности, измеряемая при помощи спутниковых альтиметров – аномалии высоты поверхности

океана, на основе которых можно рассчитать скорость и направление течений водных масс в геострофическом приближении.

Данные спутниковых альтиметров представляют собой набор измерений вдоль трека спутника с дискретностью примерно 7 км. Расстояние между соседними по времени треками для наиболее точного альтиметрического спутника TOPEX/POSEIDON составляет порядка  $28^\circ$ , причем минимальное время покрытия исследуемого региона альтиметрическими данными составляет почти 10 суток. Таким образом, для того, чтобы построить карту аномалий высот морской поверхности требуется проводить процедуру пространственной и временной интерполяции альтиметрических данных.

Пространственные размеры и время жизни мезомасштабных структур на средних широтах в океане находятся в пределах 50-100 км и 10-100 дней. К сожалению, на данный момент невозможно восстанавливать мезомасштабные структуры с хорошей точностью, используя данные только одного спутникового альтиметра, независимо от используемого метода интерполяции альтиметрических данных. Подобная особенность обработки информации обусловлена тем, что при разработке альтиметрических миссий было необходимо достигнуть компромисса по расстоянию между подспутниковыми треками спутника на поверхности и длиной изомаршрутного цикла. Например, для того чтобы разрешить структуру на поверхности океана размером 50-км на средних широтах, нужно использовать изомаршрутный цикл альтиметрического спутника длительностью около 2-х месяцев, что, несомненно, сильно усложнит задачу реконструкции исследуемой океанографической структуры по времени.

Поскольку сигнал спутникового альтиметра проходит через атмосферу и отражается от мгновенного уровня морской поверхности, необходимо учитывать специализированные поправки к альтиметрическому сигналу: атмосферные и на состояние подстилающей поверхности. Самой большой по

амплитуде значений для альтиметрических данных является поправка на приливы. Существует несколько стандартных моделей приливных поправок (CSR 3.0, FES 95.2, GOT 99), которые позволяют убирать приливную составляющую из альтиметрических данных. Однако глобальные поправки не всегда одинаково хорошо работают во всех районах мирового океана, особенно в прибрежной зоне и в динамически активных акваториях.

Следовательно, поиск метода, обеспечивающего наименьшие ошибки интерполяции альтиметрических данных при реконструкции карт аномалий высоты поверхности океана и потенциального расчета геострофических течений, а также разработка методики его использования весьма актуальны.

Для того, чтобы провести детальную настройку алгоритма интерполяции и всестороннего изучения вопроса о количестве альтиметрических спутников, необходимых для уверенного разрешения мезомасштабных структур в океане, требуется провести численное моделирование работы предлагаемой методики на «псевдо альтиметрических» шаблонах данных спутников, спроектированных при помощи орбитальных моделей. Поскольку приливные поправки существенно влияют на достоверность данных, получаемых спутниковыми альтиметрами, требуется также оценить качество работы стандартных приливных моделей в выбранном регионе исследований и, при необходимости, предложить более эффективный способ устранения приливной составляющей из альтиметрических измерений.

### **Цель работы**

Целью данного исследования является разработка и создание методики расчета карт аномалий высоты морской поверхности методом интерполяции спутниковых альтиметрических данных сплайнами типа «тонкой пластины».

### **Задачи исследования**

1. Определение оптимальных параметров методики восстановления мезомасштабной изменчивости океана с минимально возможными ошибками;
2. Проведение численного моделирования по реконструкции различных заданных поверхностей методом интерполяции сплайнами типа «тонкой пластины»;
3. Определение разрешающей способности метода сплайн-интерполяции по восстановлению структур на поверхности океана;
4. Обоснование необходимого минимума альтиметрических спутников, данные которых необходимо использовать для уверенной реконструкции мезомасштабных структур на поверхности океана;
5. Разработка метода устранения приливной компоненты из альтиметрических данных;
6. Проведение проверки достоверности карт аномалий высоты поверхности океана по картам аномалий, реконструированных методом «объективного анализа», а так же картам концентрации хлорофилла «а» и температуры поверхности океана.
7. Реконструкция карт геострофических течений по спутниковым альтиметрическим данным;
8. Оценка возможности комплексного использования данных дистанционного зондирования океана и данных промысловой статистики при практическом использовании результатов диссертационной работы.

### **Научная новизна**

1. Впервые проанализирована возможность применения метода интерполяции альтиметрических данных сплайнами типа «тонкой

пластины” для реконструкции карт аномалии высоты морской поверхности;

2. Разработана методика восстановления карт аномалий высоты морской поверхности методом интерполяции сплайнами типа «тонкой пластины» по данным спутниковой альтиметрии;
3. Впервые проведен численный эксперимент по восстановлению различных поверхностей методом интерполяции сплайнами типа «тонкой пластины» по данным «псевдо» альтиметрических шаблонов данных различных спутниковых систем;
4. Разработан метод прямого устранения приливной компоненты из спутниковых альтиметрических данных.

### **Практическая ценность работы**

Практическая ценность работы состоит в создании предложенной методики восстановления карт аномалий высоты морской поверхности сплайнами типа «тонкой пластины». Данная методика позволяет реконструировать мезомасштабные структуры в океане с приемлемой точностью и небольшими ресурсными вычислительными затратами, а также получать карты геострофических течений. Подобные карты позволяют непосредственно решать различные океанографические, океанологические, климатологические и другие задачи. Разработанная методика внедрена в Атлантическом научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО) и Сахалинском научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), что подтверждается актами о внедрении.

### **Апробация работы и публикации**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на XLIV ежегодной научной конференции в Московском физико-техническом институте, на XI Всероссийской и XII международной

конференциях по промысловой океанологии, на XII Всероссийской школе-конференции по дифракции и распространению радиоволн, Тихоокеанской конференции по дистанционному зондированию (Pacific Ocean Remote Sensing Conference) Гоа (Индия 2000), на четвёртом международном совещании по цвету океана (4 International Workshop on Ocean Color, Berlin, 2001), на XXVII Генеральной ассамблее Европейского геофизического сообщества Ницца (Франция 2002) и 19-ом международном симпозиуме по Охотскому морю и ледяному покрову (The 19th international symposium on Okhotsk sea & sea ice) (Япония 2004), а так же были представлены на международных симпозиумах по наукам о Земле и дистанционному зондированию (International Geoscience and Remote Sensing Symposium) в Сиднее (Австралия 2001) и Торонто (Канада 2002). По теме диссертации опубликовано 13 работ в отечественных и зарубежных изданиях.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Методика реконструкции карт аномалии высоты морской поверхности по данным спутниковой альтиметрии методом интерполяции сплайнами типа «тонкой пластины»;
2. Результаты анализа применения метода сплайнов типа «тонкой пластины» для восстановления карт аномалий морской поверхности по данным спутниковой альтиметрии;
3. Метод прямого устранения приливной составляющей из данных альтиметрического зондирования;
4. Результаты проверки достоверности карт аномалий высоты морской поверхности, реконструированных методом « $D^m$ -сплайн» интерполяции по картам аномалий высоты морской поверхности, полученных методом «объективного анализа», а так же по картам температуры поверхности океана и концентрации хлорофилла «а».



**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Работа содержит 125 страниц машинописного текста и 31 рисунок.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** сформулированы основные цели и задачи диссертации, представлена актуальность данных исследований и научная новизна, перечислены защищаемые положения и кратко изложено содержание всех глав диссертации.

**В первой главе** рассматриваются основные проблемы восстановления мезомасштабной изменчивости поверхности океана по данным спутниковой альтиметрии и представлен обзор литературы, который посвящен применению метода  $D_m$ -сплайн интерполяции в различных областях науки.

Рассмотрены различные аспекты восстановления мезомасштабной изменчивости аномалий высоты морской поверхности по данным спутниковой альтиметрии. Проведенный обзор литературы обозначил основные направления исследований при проведении численного моделирования.

Приведен обзор литературы по применению метода интерполяции сплайнами типа «тонкой пластины» (СТП) или « $D^m$ -сплайнами» для решения различного круга задач. Показано, что:

- метод интерполяции СТП способен восстанавливать даже сложные поверхности, такие как поверхность кольца;
- метод интерполяции СТП изначально разрабатывался для работы с нерегулярным распределением исходной информации, тогда как большинство методов интерполяции сплайнами требуют наличия исходных данных, стянутых в узлы регулярной сетки;
- метод интерполяции СТП способен обрабатывать большие массивы данных, что важно при реконструкции карт аномалий морской

поверхности, поскольку количество исходной информации может достигать нескольких тысяч альтиметрических измерений;

- метод интерполяции СТП мало чувствителен к увеличению количества измерений пространства в рассматриваемой задаче, более того позволяет без существенных затрат производительности проводить восстановление как 2-х мерных, так и 3-х мерных поверхностей.

Результаты проведенного анализа позволили подтвердить актуальность работы, а так же сформулировать цель и задачи исследования. Целью работы является разработка методики расчета карт аномалий высоты морской поверхности методом интерполяции альтиметрических данных сплайнами типа «тонкой пленки».

**Во второй главе** представлена краткое теоретическое описание метода интерполяции сплайнами типа «тонкой пластины», а также приведена методика реконструкции карт аномалий высоты поверхности океана по данным спутниковой альтиметрии.

Методика обработки спутниковых альтиметрических данных, состоит из нескольких этапов (рис. 1):

1. Определяем дату  $T$  на которую производится реконструкция карты аномалии высоты морской поверхности. Производим выборку данных с альтиметрических спутников по району симметрично по времени относительно выбранной даты  $T$  ( $T-5$ ,  $T+4$  для данных спутника TOPEX/POSEIDON,  $T-8$ ,  $T+8$  для Geosat-FO и  $T-17$ ,  $T+17$  для ERS-2);
2. Выбираем узел  $k$  из регулярной сетки, в котором ищется значение сплайна. Производим поиск исходных альтиметрических измерений вокруг этого узла по следующему алгоритму: берем все исходные альтиметрические точки, которые попадают в квадрат со стороной  $R_m$  градусов и нашим исследуемым узлом  $k$  посередине (центры квадратов выбираются таким образом, чтобы обеспечить «нахлест» узлов сетки

внутри квадрата в одну строку и столбец с соседними. Ранее рассчитанные граничные узлы на ребрах квадратов, так же отбираются

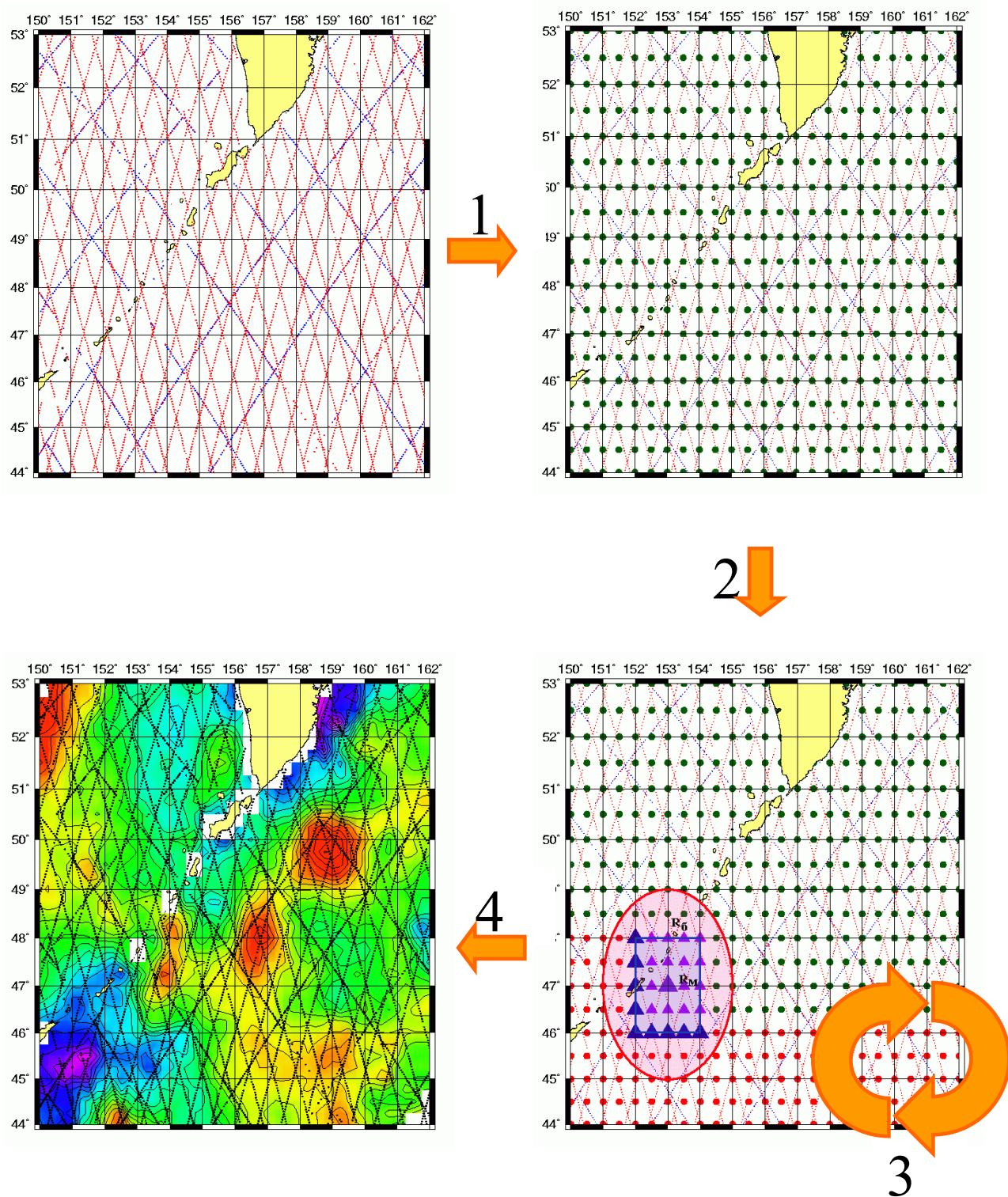


Рис. 1. Схема методики реконструкции карт аномалий морской поверхности методом интерполяции сплайнами типа «тонкой пластины».

для участия в процедуре интерполяции с целью обеспечения непрерывности значений восстанавливаемой функции в граничных узлах квадратов сетки). Проводим дополнительный поиск в круге с радиусом  $R_0$  градусов и центром в исследуемом узле  $k$ . В данном случае ограничиваемся каждой четвертой точкой, удовлетворяющей географическому условию. И ограничиваем общее количество точек, выбранных по приведенной выше схеме, числом  $N$ . Точки, попавшие в рассмотрение, должны удовлетворять условию по времени  $|T - T_i| < 20$ , где  $T_i$  – время исходной точки, а  $T$  – время узла;

3. Проводим расчет коэффициентов сплайна для рассматриваемой нами области. Так как сплайн описывает не только значение в узле  $k$ , но и во всей области, над которой мы провели процедуру интерполирования, рассчитаем значения восстанавливаемой функции не только в узле  $k$ , но и для узлов находящихся в квадратной области со стороной  $R_m$  и центром в  $k$ . Производим повтор процедуры для всех узлов, в которых необходимо восстановить исследуемую функцию;
4. Как только рассчитаны значения сплайна во всех узлах регулярной сетки, реконструкция карты аномалий высоты морской поверхности завершена

**Третья глава** посвящена проблематике моделирования и восстановления различных, заранее заданных поверхностей, методом “Дм-сплайн” интерполяции. Ошибки (относительные) восстановления поверхностей оценивались путем расчета невязки между исходной и восстановленной функциями и определялись следующими соотношениями:

$$\delta_L = \frac{\sqrt{\sum_i (f_i - \tilde{f}_i)^2}}{\sqrt{\sum_i f_i^2}}; \quad \delta_C = \frac{\max_i |f_i - \tilde{f}_i|}{\max_i |f_i|}, \text{ где } f - \text{ значение исходной и } \tilde{f} -$$

значение восстановленной функций.

Проведено исследование по восстановлению различных функций. В частности, функций с непрерывной первой производной вида:

$$\begin{cases} f(\varphi_i) = \sum_i \cos^2\left(\frac{\pi}{2}\varphi_i\right), & \varphi_i < 1, \\ \cos^2\left(\frac{\pi}{2}\varphi_i\right) = 0, & \varphi_i \geq 1, \end{cases}$$

$$\varphi_i = \left(\frac{(x-x_i)^2}{a_i^2} + \frac{(y-y_i)^2}{b_i^2} - 2\frac{(x-x_i)(y-y_i)}{a_i b_i} \cos \gamma_i\right).$$

Где  $x$  – широта,  $y$  – долгота;  $x_i, y_i$  – координаты центра эллипса;  $a_i$  и  $b_i$  – полуоси эллипса;  $\gamma_i$  – угол поворота эллипса;  $i$  – номера моделируемых неоднородностей. Шаблон исходной альтиметрической информации ограничивался только данными спутника TOPEX/POSEIDON.

Ошибки восстановления стационарных функций составили  $\delta_C = 0.21$ , а  $\delta_L = 0.09$  для неоднородностей диаметра порядка  $4^\circ$ . Для стационарных по времени неоднородностей диаметром 150 км ошибки восстановления достигли величин  $\delta_C = 0.56$ , а  $\delta_L = 0.40$ , поэтому уверенное восстановление более мелких структур становится затруднительным при использовании данных одной альтиметрической системы. В случае нестационарной функции (аргументы  $\varphi_i$  функции  $f$  зависят от времени), которая моделирует неоднородности диаметром  $4^\circ$ , ошибки восстановления составили  $\delta_C = 0.44$ , а  $\delta_L = 0.14$ .

На рис. 2 и 3 приведены примеры восстановления функций вида

$$f(x, y, t) = 15 \sin\left(2x + \frac{t}{7}\right) \cos\left(2y + \frac{t}{7}\right) \quad (1)$$

$$f(x, y, t) = \frac{20}{t/a+1} \exp\left(-\frac{(x-\frac{t}{4}-150)^2}{t+1} - \frac{(y-\frac{t}{4}-50)^2}{t+1}\right);$$

$$\begin{aligned} 0 < t < 17 & a = 12; \\ 17 < t < 25 & a = 8; \\ 25 < t < 30 & a = 7; \end{aligned} \quad (2)$$

$$f(x, y, t) < 1 \quad f(x, y, t) = f(x, y, t) + \sin\left(x + \frac{t}{7}\right) \cos\left(y + \frac{t}{7}\right).$$

Вид функций специально выбран таким образом, чтобы в первом случае оценить возможности разрешения методом интерполяции сплайнами типа «тонкой пластины» группы мезомасштабных структур с резкими перепадами

высот (от -15 до +15 см), а во втором случае оценивается возможность восстановления структуры большого пространственного размера с высотой и диаметром меняющимися во времени.

При моделировании функций, исходные данные представляли собой не только шаблон подспутниковых точек спутника TOPEX/POSEIDON, а так же данные спутников ERS-2 и GEOSAT-FO.

Соответственно в результате проведенного моделирования были определены значения параметров  $R_m$ ,  $R_b$  и  $N$  при которых достигаются минимальные значения ошибок и невязки:  $R_m = 1.4$ ,  $R_b = 6$  и  $N=150$ .

Проведено исследование зависимости ошибок восстановления функций от числа альтиметрических систем, данные которых используются для реконструкции карт аномалий морской поверхности. На рис. 2 представлены результаты восстановления функции (1) с использованием информации двух (рис. 2б) или трех (рис. 2в) альтиметрических систем. Ошибки восстановления для первого случая составили  $\delta_C = 1.41$ ,  $\delta_L = 0.46$  и невязка 2.37 см, а случай трех альтиметрических спутников:  $\delta_C = 1.12$ ,  $\delta_L = 0.25$  и невязка 1.23 см соответственно. Видно, что добавление третьего спутника уменьшает  $\delta_C$  на четверть,  $\delta_L$  на половину, а невязка так же сокращается почти вдвое. В случае использования исходных данных только системы TOPEX/POSEIDON величины ошибок составили:  $\delta_C = 6.52$ ,  $\delta_L = 1.38$  и невязка 7.21 см при восстановлении аналогичной функции. На рис. 3 представлены результаты восстановления функции (2). Для случая двух (рис. 3б) спутников ошибки составили  $\delta_C = 0.28$ ,  $\delta_L = 0.18$  и невязка 0.14 см, а для трех (рис. 3в) -  $\delta_C = 0.22$ ,  $\delta_L = 0.16$  и невязка 0.11 см, соответственно. Ошибки и невязка существенно меньше, чем при восстановлении функции (1) в первую очередь, в силу того, что сам по себе диапазон изменения высоты функции (1) составляет 30 см, а для функции (2) всего 8 см, так как она призвана имитировать относительно спокойную морскую поверхность. Соответственно улучшение, за счет данных третьего альтиметра в случае

малоэнергитичного региона составляет – 30% для  $\delta_C$  (чуть больше, чем для функции (1)), 13% для  $\delta_L$  и 25% для невязки.

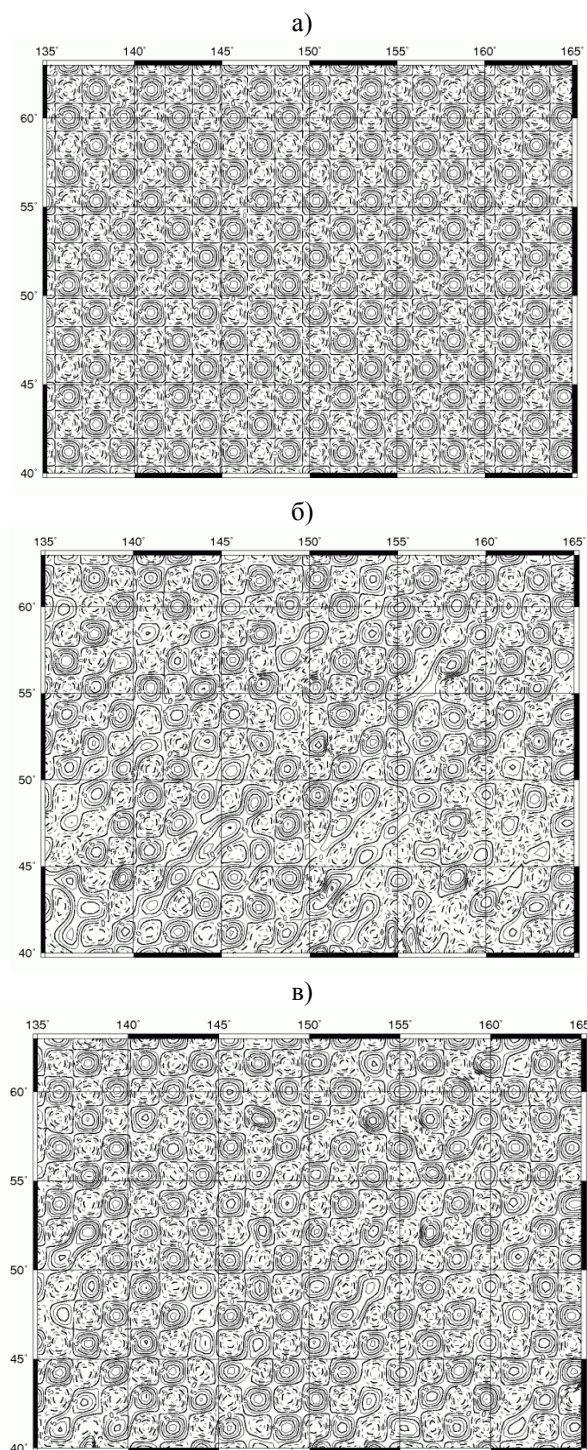


Рис. 2. Вид функции . а) – исходная функция, б) – восстановленная по двум альтиметрическим источникам и в) - восстановленная по трем альтиметрическим источникам.

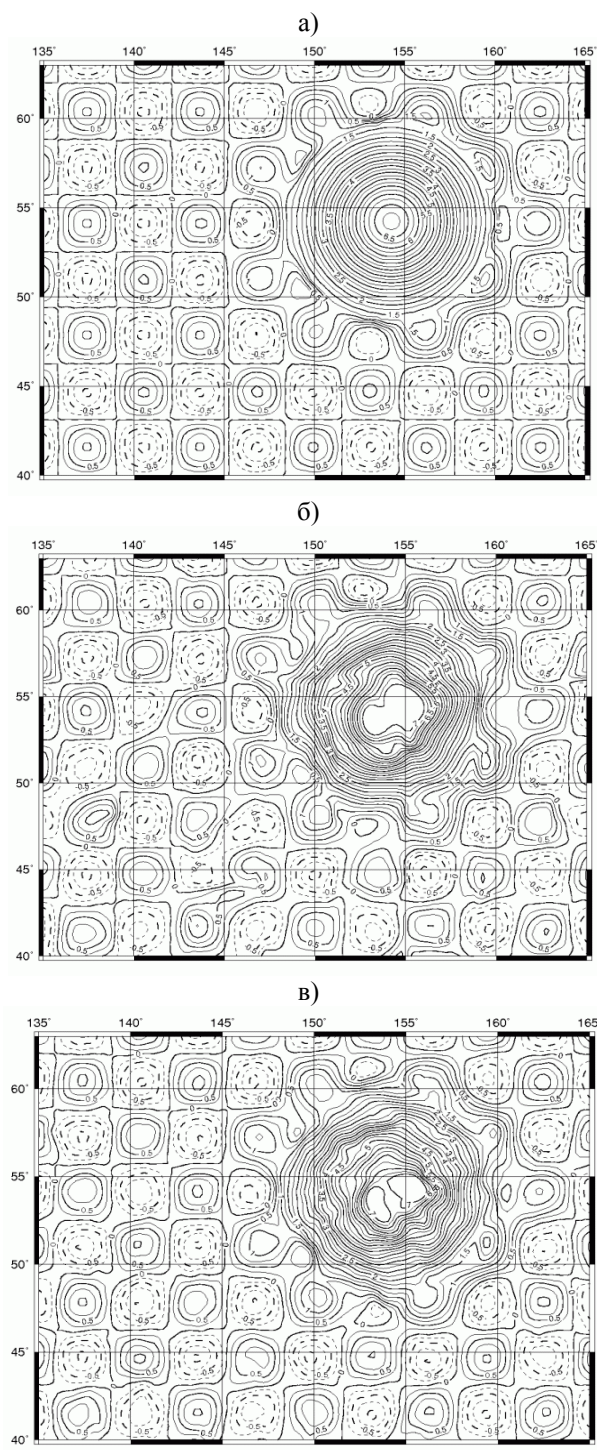


Рис. 3. Вид функции (2). а) – исходная функция, б) – восстановленная по двум альтиметрическим источникам и в) - восстановленная по трем альтиметрическим источникам.

**В четвертой главе** рассматриваются вопросы экспериментальной проверки разработанной методики реконструкции карт аномалий высоты морской поверхности и ее практическое применение.

Разработан метод прямого устранения приливной составляющей из спутниковых альтиметрических данных, который позволил улучшить точность восстановления карт аномалий морской поверхности.

Проведено сравнение существующей глобальной приливной модели (GOT99) со специально разработанным методом устранения приливов из альтиметрических данных для региона Северных Курил. Показано, что карта аномалий высоты морской поверхности, построенная с учетом предложенного метода устранения приливной составляющей сигнала, точнее описывает наличие и местоположение вихревых образований в регионе, чем карта, построенная с учетом приливной модели GOT99.

Осуществлена проверка достоверности карт аномалий высоты морской поверхности, полученной при помощи « $D^m$ -сплайнов» по картам, полученным методами «объективного анализа». Показано, что, несмотря на подобие восстановленных структур на поверхности океана в целом, в северной части Охотского моря наблюдается некоторое расхождение в амплитудах наблюдаемых структур. Анализ восстановления вдоль трековой альтиметрической информации показывает, что более объективное восстановление по отношению к реальным альтиметрическим данным проведено методом интерполяции « $D^m$ -сплайнами».

Показано, что карты аномалии высоты морской поверхности созданные методом интерполяции сплайнами типа «тонкой пластины» неплохо соотносятся с картами концентрации хлорофилла «А» и температуры морской поверхности в выбранной акватории Охотского моря. Наблюдается практически точное совпадение для размеров, форм и координат центров мезомасштабных структур на картах, что подтверждает высокое качество, как пространственной, так и временной интерполяции сплайнами типа



«тонкой пластины» и высокое качество региональной приливной модели для региона Северных Курил.

Показана возможность реконструкции карт геострофических течений по данным спутниковых альтиметров.

Приведены результаты совместного использования различных данных дистанционного зондирования с целью изучения возможности связи между местоположением и динамикой мезомасштабных структур с одной стороны, поведением и миграцией биологических объектов с другой.

### **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

1. Предложена методика реконструкции карт аномалий высоты морской поверхности методом интерполяции альтиметрических данных сплайнами типа «тонкой пластины».
2. Проведено численное моделирование восстановления методом сплайн интерполяции типа «тонкой пластины» различных стационарных и зависящих от времени функций. Найдены значения оптимальных параметров методики реконструкции карт аномалий высоты морской поверхности для региона Дальнего Востока:  $R_m = 1.4$ ,  $R_\sigma = 6$  и  $N=150$ ;
3. Результаты проведенного моделирования показывают возможность восстановления мезомасштабных структур на поверхности океана диаметром 100-150 км;
4. Анализ ошибок восстановления функции показал, что для реконструкции карт аномалий высоты морской поверхности необходимы исходные данные минимум двух, а лучше трех альтиметрических спутников;
5. Разработан метод прямого устранения приливной составляющей из данных альтиметрических спутников;
6. Анализ вдоль трековых измерений спутников показал, что карты аномалии высоты морской поверхности, полученные методом сплайн-интерполяции, более точно описывают поверхность океана, чем карты

аномалии высоты морской поверхности, реконструированные методом «объективного анализа»;

7. Проведена проверка достоверности карт аномалии высоты морской поверхности, полученных методом сплайн-интерполяции по картам температуры поверхности океана и концентрации хлорофилла «А». Показано хорошее соответствие между местоположением и формой регистрируемых неоднородностей на поверхности океана;
8. Показана возможность реконструкции карт геострофических течений по данным спутниковых альтиметров;
9. В результате анализа совместного использования различных данных дистанционного зондирования (карт аномалий морской поверхности и концентрации хлорофилла «а») и статистической промысловой информацией продемонстрировано:
  - для решения задач океанологического мониторинга акваторий морей Тихого океана (Японского и Охотского морей), данные о первичной биопродуктивности, полученными со спутника SeaWiFS, необходимо дополнять данными об аномалиях высоты морской поверхности с альтиметрических спутников;
  - полученные карты аномалий высоты морской поверхности и концентрации хлорофилла «а» можно использовать для информационной поддержки промыслового прогнозирования в Мировом океане.

**Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:**

1. Романов А.А, Матвеев С. В., Романов Ал. А. Спутниковая альтиметрия: Исследование динамической топографии морской поверхности. // Тезисы докладов XI Всероссийской конференции по промысловой океанологии (Калининград, 14–18 сентября 1999 г.) / Москва: Издательство ВНИРО 1999, с.152–179.
2. Ю.В. Фефилов, Алексей А. Романов, Александр А. Романов Возможность совместного использования данных различных спутниковых сенсоров для прогнозирования рыбопромысловой обстановки // Тезисы докладов XLIV Научной конференции Московского физико-технического института (23–30 ноября 2001 г.) / Москва, 2001 г., ч.3, с.66.
3. A.Romanov, Y.Fefilov, A.Romanov Multi-satellite Oceanographic Monitoring in Far East Region as a Part of Monitoring, Control and Surveillance System for Russian Fisheries Fleet: Preliminary results //Proceedings of 4 International Workshop on Ocean Color, Berlin, 2001, P. 225–234.
4. А. А. Романов, Ю. В. Фефилов Совместное использование данных дистанционного зондирования и промысловой статистической информации. // Труды XII Всероссийской школы-конференции по дифракции и распространению радиоволн (Москва, 19–23 декабря 2001 г., Российский новый университет), М.: Московский физико-технический институт (государственный университет), т.2. с 421–422
5. Alexey A. Romanov, Vyacheslav E. Kunitsyn, Alexander A. Romanov The approach of dynamic topography maps reconstruction by local spline-approximation. // European Geophysical Society XXVII General Assembly ( Nice, France,21 - 26 April 2002) / EGS XXVII General Assembly Abstracts, V4, 2002, p.1

6. Романов А.А., Романов Ал.А. Исследование возможности использования карт динамической топографии поверхности океана по данным спутниковой альтиметрии для решения промышленных задач в районах ЦВА и ЮВА. //Тезисы докладов XII международной конференции по промышленной океанологии (Светлогорск, 9–14 сентября 2002 г.) /Калининград: Издательство АтлантНИРО 2002, с.212–213.
7. Романов А.А., Романов Ал.А., Фефилов Ю.В. Исследование возможности совместного использования данных дистанционного зондирования и промышленной статистической информации на основе судовых суточных донесений //Тезисы докладов XII международной конференции по промышленной океанологии (Светлогорск, 9–14 сентября 2002 г.) /Калининград: Издательство АтлантНИРО 2002, с.209–210.
8. 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
9. Шевченко Г.В., Романов А.А. Определение характеристик прилива в Охотском море по данным спутниковой альтиметрии. // Исследование земли из космоса, 2004, №1, с. 49-62
10. Шевченко Г.В., Романов А.А.. Пространственная структура прилива в Охотском море на основе данных спутниковой альтиметрии. "Колебания уровня в морях". Сборник научных статей. Российский гидрометеорологический университет. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2003, с. 92-110.
11. Romanov A.A., Sedaeva O.S., Shevchenko G.V. Seasonal and tidal sea level oscillations comparison from altimetry data and coastal tide gauges between

Hokkaido and Sakhalin islands // The 19<sup>th</sup> international symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, 2004, pp. 294-303

12. Romanov A.A., Mandych A.T., Novinenko E.G., Shevchenko G.V. Eddies determination in the Northern Kurils area from remote sensed data and direct CTD measurements // The 19<sup>th</sup> international symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice, 2004, pp. 276-281

13. Романов А.А. Методика восстановления карт аномалий морской поверхности методом «D<sup>m</sup>-сплайнов». Электронный журнал "Исследовано в России", 042. С. 454-463, 2004 г.

<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/042.pdf>