

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

С.М. Гордеева, О.И. Шевчук

РУКОВОДСТВО ПО СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ  
ГЛОБАЛЬНЫХ АРХИВОВ ИНФОРМАЦИИ  
(на примере альтиметрических данных)



Санкт-Петербург  
2013

**УДК 551.461.2:004.62**

**Гордеева С.М., Шевчук О.И.** Руководство по статистической обработке глобальных архивов информации (на примере альтиметрических данных). – СПб.: РГГМУ, 2013. – 44 с.

**ISBN 978-5-86813-341-1**

Рассматриваются формы организации глобальных архивов информации об альтиметрических данных в сети Интернет, особенности представления файлов разных форматов. Даются адреса основных баз данных. Обсуждаются алгоритмы извлечения данных и их последующей статистической обработки.

Книга предназначена для бакалавров и магистров направления подготовки «Прикладная гидрометеорология», а также может быть полезна аспирантам соответствующих специальностей.

**Gordeeva S.M., Shevtchuk O.I.** Guidelines for statistical analysis of global information archives. – St Petersburg: RSHU Publishers, 2013. – 44 pp.

The book reviews forms of the global information archives of altimetry data in the Internet and features of many different formats. It links to major hydrometeorology databases. There are the data extraction algorithms and statistical manipulation of data discussed.

The book is intended for specialists in the field of hydrometeorology, and it may be also useful to PhD students and undergraduates in related disciplines.

**ISBN 978-5-86813-341-1**

© Гордеева С.М., Шевчук О.И., 2013

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2013

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА УРОВНЕМ МИРОВОГО ОКЕАНА. ....	6
1.1. Футьшточные и донные наблюдения .....	6
1.2. Альтиметрические наблюдения .....	14
2. ОСОБЕННОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ФАЙЛОВ РАЗНЫХ ФОРМАТОВ .....	26
2.1. Текстовый формат или ASCII .....	26
2.2. Формат netCDF .....	26
3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ГЛОБАЛЬНЫХ АРХИВОВ ИНФОРМАЦИИ .....	30
3.1. Сравнение двух наборов данных .....	30
3.2. Другие задачи, решаемые статистическими методами .....	38
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	44

## **ВВЕДЕНИЕ**

Несмотря на сравнительно короткую историю, развитие спутниковой альтиметрии идет быстрыми темпами. Спутниковые методы получения информации об океане привели к существенным изменениям в современной океанологии. Дистанционное зондирование океана позволяет производить регулярные измерения с высоким пространственным разрешением и открывает принципиально новые, уникальные возможности исследования океанологических полей в широком диапазоне пространственно-временных масштабов.

Основные цели спутниковой альтиметрии можно условно разделить на два типа. Первые направлены на решение геодезических задач: уточнение формы и высот геоида и гравитационного поля Земли. Вторые — на осуществление мониторинга изменчивости высоты морской поверхности. Круг задач, которые могут решаться в этих рамках, достаточно широк — от различных океанологических задач до исследований глобальных изменений климата.

Конечно, с точки зрения решения многих локальных океанологических задач, погрешности измерения высоты морской поверхности остаются еще довольно высокими. В тоже время при осреднении для больших акваторий океана и особенно Мирового океана в целом влияние случайных ошибок на точность оценок морского уровня становится пренебрежимо малым. Кроме того, при выполнении статистических расчетов (оценки тренда, корреляционно-регрессионный анализ и др.) систематические ошибки также не сказываются на полученных результатах. Все это, безусловно, повышает степень доверия к глобальным оценкам уровня океана и его статистическим характеристикам.

В пособии рассматриваются основные мировые архивы данных об уровне океана на мареографных станциях, а также о высотах уровенной поверхности открытого океана, получаемых со спутников. Приведены ссылки и особенности доступа к разным источникам этой информации в сети Интернет. Так как наиболее распространенными на текущий момент форматами представления данных являются ASCII и NetCDF, кажется целесообразным рассмотреть способы их применения для последующей обработки данных. И закономерным следствием получения цифровой информации является её статистический анализ. В связи с разнообразием доступных архивов, на первом этапе всегда возникает необходимость в выборе одного из многих источников, помочь в этом могут алгоритмы статистических методов и примеры сравнения наборов данных, а также другие, более специализированные подходы статистических исследований.

В пособии предполагается, что читатель знаком с основной статистической терминологией и простыми статистическими расчетами, хорошо

понимает структуру организации Интернет, а также имеет мотивацию для работы с альтиметрической информацией, потому как это тяжелый физический труд — работать с глобальными архивами.

Поэтому, прежде всего, пособие предназначено для магистров и аспирантов гидрометеорологических направлений, но также частично может быть полезно студентам младших курсов.

Работа над пособием выполнялась при финансовой поддержке гранта Правительства РФ (Договор № 11.G34.31.0078) для поддержки исследований под руководством ведущих ученых.

# 1. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА УРОВНЕМ МИРОВОГО ОКЕАНА

## 1.1. Футшточные и донные наблюдения

### 1.1.1. Международные системы измерений уровня моря

Известно, что систематические наблюдения за уровнем моря имеют довольно длительную историю. Так, регулярные футшточные измерения уровня начались в Амстердаме в 1765 г., причем эпизодические наблюдения здесь выполнялись еще в начале XVIII века. В настоящее время сеть береговых станций насчитывает около 1900 станций, которые Межправительственной океанографической комиссией при ЮНЕСКО объединены в единую международную систему **GLOSS** (Global Sea Level Observing System) — глобальную систему наблюдений за уровнем моря.

Основным компонентом системы является постоянно действующая сеть станций GLOSS Core Network (GCN), включающая 290 береговых футшточных наблюдательных постов по всему миру (рис. 1), регулярно передающих информацию.

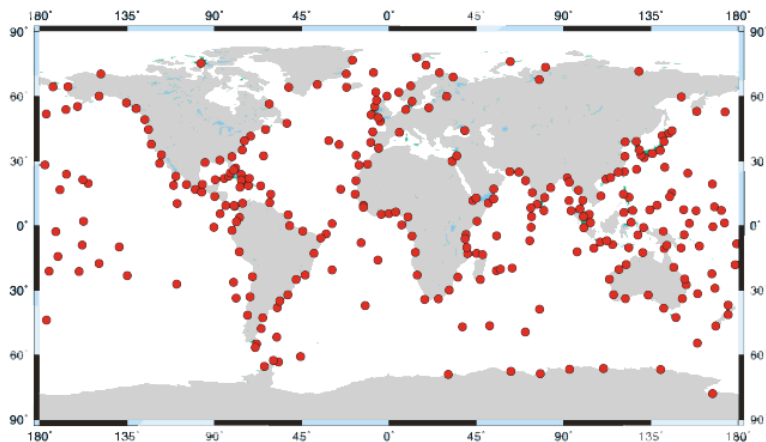


Рис. 1. Распределение на Земле станций постоянно действующей сети GLOSS (GCN).

Наблюдения над уровнем моря производятся с помощью самописцев уровня, располагаемых у береговой черты вблизи населенных пунктов (рис. 2). Безусловное достоинство береговых наблюдений — это наличие длительных серий наблюдений, а принципиальный недостаток — невозможность измерения уровня вне береговой черты.



Рис. 2. Поплавковый самописец уровня моря в Венеции.



Акустический самописец уровня моря в Австралии.

Исследования уровня моря, проводящиеся в рамках программы GLOSS используются при изучении океанской циркуляции и динамики береговой черты, а также по программе исследования климата Земли «Исследование и предсказание климатической изменчивости» (CLIVAR).

На основе измерений системы GLOSS действует Постоянная служба среднего уровня моря (PSMSL), которая была создана в 1933 г. Основные задачи PSMSL заключаются в сборе, анализе, интерпретации данных о среднем уровне моря, публикации и распространении информации. В PSMSL поступают среднемесячные и среднегодовые данные по уровню моря почти от 200 органов государственной власти, расположенных по всему миру, отвечающих за мониторинг уровня моря в разных странах или регионах. Ежегодно происходит пополнение данными, которые проверяются и приводятся к единой системе отсчета. В часть METRIC помещаются реальные проверенные данные, а в архив RLR (Revised Local Reference) поступает уже исправленная информация.

Подавляющее большинство длиннорядных станций сосредоточено в Европе и Северной Америке (рис. 3), в то время как южное полушарие почти не освещено данными наблюдений.

Наиболее длинные ряды регулярные по уровню отмечаются на станциях Брест (48°23' с.ш., 4°30' з.д.), где начало стационарных наблюдений датируется 1807 г. и Свиноуйсьце (53°55' с.ш., 14°14' в.д.) с началом наблюдений в 1811 г.

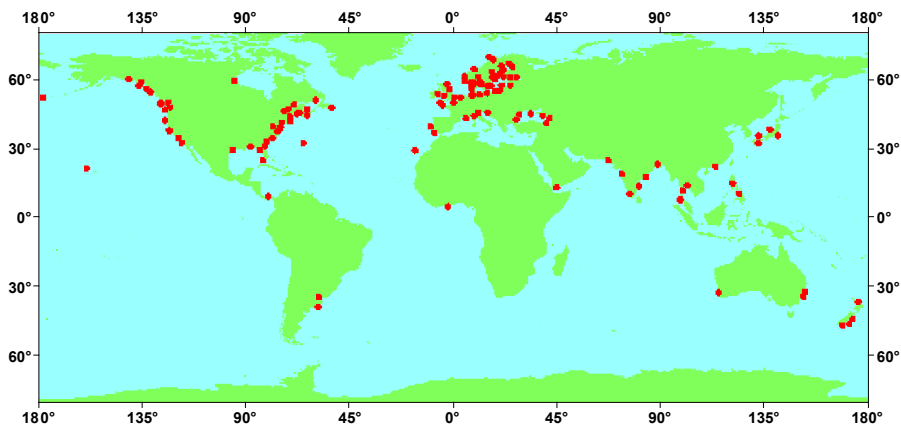


Рис. 3. Распределение береговых станций наблюдений за морским уровнем архива PSMSL с периодом наблюдений более 60 лет.

Также существуют исторические архивы данных для станций Амстердам (1700-1925 гг.); Стокгольм (1774-2000 гг.), Ливерпуль (1768-1996 гг.) и Кронштадт (1773-1993 гг.)

Глобальная система позиционирования (GPS) предоставляет собой отличный пример того, как новая геодезическая техника изменила обычную практику измерений уровня моря.

Многие мареографы в настоящее время оборудованы GPS-приемниками (рис. 4), которые позволяют определить:

- точное время наступления приливов (до применения GPS ошибки в часах были общим правилом);
- точную локализацию положения прибрежного уровня моря (уреза воды) в геодезических отсчетах, позволяя комбинировать данные мареографов и альтиметрических данных открытого моря, а также для калибровки альтиметров относительно информации мареографов;
- оценки скорости вертикального движения поверхности Земли так, что становится возможным выделить в записях мареографов изменчивость, связанную с колебаниями суши, а не моря.

Последняя функция GPS особенно важна в регионе Балтийского моря, берега которого поднимаются и опускаются с разной скоростью, что затрудняет исследования изменений уровня моря. В частности, эти проблемы решаются в рамках эксперимента GRACE (GRavity And Climate Experiment), в котором со спутников производятся измерения колебаний гравитации Земли за длительный период времени, что позволяет точно определить, как изменяются берега Балтики.





Рис. 4. Футшток в Марселе (Франция) и его GPS-приемник.

За пределами суши на поверхности Земли наблюдения уровня моря производятся с помощью измерения давления у дна с помощью донных установок (рис. 5).



Рис. 5. Донный измеритель с датчиком давления MYRTLE, устана вливаемый в Южной Атлантике.

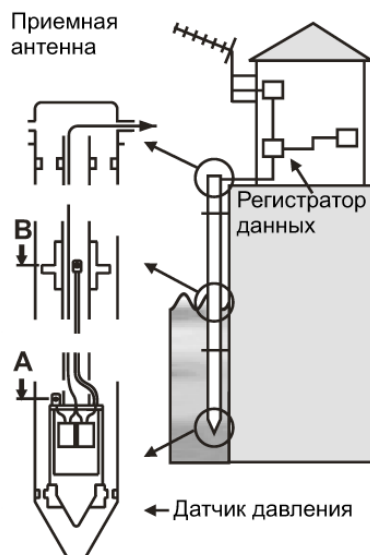


Схема системы наблюдений за уровнем моря с датчиком давления на о. Вознесения в Южной Атлантике.

В основном донные регистраторы давления устанавливаются в южном полушарии: в открытой части Индийского океана, в проливе Дрейка, морях Скотия и Уэдделла, Южной и Центральной Атлантике. Массовые измерения проводились в 1980-90 гг. С недавнего времени PSMSL является членом Международной ассоциации физических наук об океане (IAPSO) международного союза по геодезии и геофизике (<http://www.iugg.org/associations/iapso.php>), которая поддерживает его в получении и улучшении данных *in situ*, полученные с регистраторов давления на океаническом дне. На эти цели выделен грант Совета по исследованию окружающей среды Великобритании.

### Доступ к данным

#### 1. Официальный сайт PSMSL:

**<http://www.psmsl.org/data/>**

Ежемесячные и ежегодные данные по станциям можно выбрать с помощью интерактивной технологии Карт Google, или просто из таблицы по названию и номеру станции.

Текстовый формат.

Основной недостаток: многие ряды очень короткие, особенно на территории России.

#### 2. Центр уровня моря Гавайского университета:

**<http://www.soest.hawaii.edu/UHSLC/>**

Три онлайн-базы данных:

- Данные об уровне океана исследовательского качества (research quality sea level station data). 800 станций. Месячные, суточные и часовые временные ряды.

Текстовый формат.

Основной недостаток: данные за разные для каждой станции отрезки времени с 1900 по 2000 гг. Сводной таблицы о временных промежутках на станциях нет.

Данных на территории России нет.

- Самые последние «быстрой доставки» данные об уровне океана по программе GLOSS/CLIVAR (Latest «fast delivery» sea level station data). 257 станций. Месячные, суточные и ежечасные временные ряды, графики.

Текстовый формат.

Основной недостаток: данные за разные для каждой станции отрезки времени по текущее время (например, ежечасный уровень для Стокгольма есть с 1889 по сентябрь 2012, непрерывный). Сводной таблицы о временных промежутках на станциях нет.

Данных на территории России нет.

- Данные по программе изучения экваториальной части Тихого океана (Latest SLP-Pac sea level station data). Содержат показатели течений экваториальной части Тихого океана, оценки динамической топографии для Северного Экваториального Противотечения, Северо-Экваториального течения, и для частей Южного экваториального течения, лежащих к северу и югу от экватора.

Текстовый формат.

Российских данных нет.

3. Национальная служба приливов Австралии — Центр Южного океана:

**<http://www.bom.gov.au/oceanography/projects/ntc/ntc.shtml>**

и Новой Зеландии: **<http://www.linz.govt.nz/hydro/tidal-info/index.aspx>**

Ежечасные метеорологические и данные об уровне моря по Австралии и Новой Зеландии с 1991 г. по настоящее время. Прогнозы приливов в Южном океане, Тихоокеанских островах, Австралии и Новой Зеландии.

В текстовом формате. Рисунки в pdf-формате.

Российских данных нет.

4. Собственный архив данных об уровне моря Международной Океанографической Комиссии (МОК) (IOC sealevel system):

**<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/index.php>**

560 станций, включая часть GLOSS.

Наблюдения в реальном времени с дискретностью от суток до секунд. Данные в рисунках и текстовом формате.

Российские станции представлены дальневосточными постами с информацией в нерегулярных временных интервалах.

5. Глобальный банк данных о глубоководном давлении (GLOUP):

**<http://www.pol.ac.uk/ntslf/acclaimdata/gloup/gloup.html>**

Данные представлены как отдельные ежечасные и суточные записи разной длительности (до 1500 дней) в разных точках. В основном, покрывают период с 1970 по 1996 гг.

Формат записей текстовый.

Те же данные в запакованном виде можно взять с ftp-сервера:

**<http://www.pol.ac.uk/ntslf/acclaimdata/bprs/>**

6. Британский океанографический центр данных:

**[https://www.bodc.ac.uk/data/online\\_delivery/international\\_sea\\_level/bpr\\_data/#Crozet](https://www.bodc.ac.uk/data/online_delivery/international_sea_level/bpr_data/#Crozet)**

Те же данные, что и GLOUP, только орнизованы в интерактивную форму доступа по карте или в таблицах по морям.

Формат записей текстовый или netCDF.

7. Оперативная океанографическая система Балтики:

<http://www.boos.org/index.php?id=22>

Ежесуточно обновляемые ежечасные данные за последнюю неделю в интерактивной форме выбора на станциях Балтики, а также прогностические данные об уровне.

### 1.1.2. Российские футшточные наблюдения

Россия также представлена в системе GLOSS морской гидрометеорологической сетью Федеральной Службы России по Гидрометеорологии и Мониторингу Окружающей Среды (Росгидромет). Собираемые региональными управлениями Росгидромета данные направляются во ВНИИГМИ-МЦД, где они каталогизируются и хранятся. Через эту организацию среднемесячные и среднегодовые данные по уровню моря станций, входящих в систему GLOSS, направляются раз в год в Постоянную службу среднего уровня моря (PSMSL) и ежемесячно в Специализированный океанографический центр по уровню моря (Гонолулу, США).

Из 86 российских станций, информация о которых присутствует в PSMSL, всего 10 станций удовлетворяют международным требованиям по точности (ошибка измерений уровня моря не более 1-2 см и ошибка по времени не более 1 мин) и поэтому включены в систему GLOSS.

В табл. 1 представлены станции, данные о наблюдениях за уровнем моря в которых предоставляются в систему GLOSS.

*Таблица 1*

**Станции, данные о наблюдениях за уровнем моря в которых предоставляются в систему GLOSS**

Номер в GLOSS	Местонахождение	Период наблюдений	Представленность в PSMSL
90	Южно-Курильск	1948-1994	1948-1994
92	Бухта Нагаево	1932-2010	1957-2010
93	Петропавловск-Камчатский	1910- 2010	1957-2010
97	Калининград	1881-1986	1926-1986
98	Туапсе	1917-2010	1917-2010
99	Русская Гавань	1932-1993	1953-1993
274	Мурманск	1917-2010	1952-2010
309	Бухта Провидения	1934-2002	1977-1983
312	Диксон	1915-1979, 1981-2002	1950-1997
313	Тикси	1932-1979, 1981-2009	1949-2009

Все российские станции GLOSS (за исключением островных) имеют привязку к государственной нивелирной сети, высотное положение их реперов отсчитывается от нуля Кронштадтского футштока, отметка которого специальным постановлением Совета Министров СССР в 1946 году был принята в качестве исходной точки государственной уровенной сети и основой национальной («Балтийской») системы высот.

### *Кронштадтский футшток.*

Кронштадтский футшток расположен в восточной части Финского залива в Балтийском море (в Невской губе, именуемой также «Маркизова Лужа») на Острове Котлин в пределах города Кронштадта. Он является старейшим в России. Начало наблюдений за уровнем моря в районе нынешнего Кронштадта, как правило, связано с именем Петра I и 1703 годом, хотя прямых подтверждений этому не было найдено.

Его текущая нулевая отметка зафиксирована на пирсе Синего Моста над Обводным Каналом (рис. 6). Металлический стержень (3,6 м) установлен на том же месте и на 12 м от него, в павильоне, специально построенном в 1950 году расположен мареограф. Ранее, с 1896 года, мареограф был помещен в домик, находящийся в том же канале, приблизительно в 230 м от Синего моста. Благодаря ориентации канала в направлении ЮЗ в этом месте, уровень в нем довольно чувствителен к ветрам того же (преобладающего) направления.

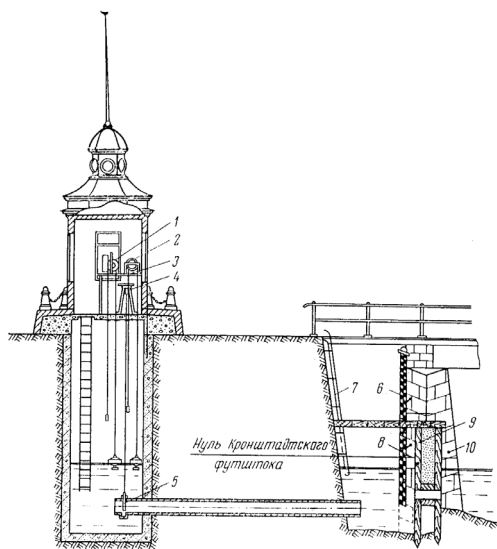


Рис. 6. Схема Кронштадтского футштока.

В течение эксплуатации постоянный операционный репер располагался в различных точках о-ва Котлин, несколько раз перемещался, изменялись поположения устройств регулировки, менялась обработка и представление данных, условия наблюдений, календарь используемых систем, несколько раз производился ремонт Синего моста, поэтому требуются специальные методы восстановления вековых наблюдений за уровнем моря, что до настоящего времени разрабатывается недостаточно. Основной вклад в эту работу внес В.И. Богданов.

### **Доступ к данным**

1. Данные футшточных наблюдений российских гидрологических постов доступны только через официальный сайт PSMSL:

**<http://www.psmsl.org/data/>**

Ежемесячные и ежегодные данные по станциям можно выбрать с помощью интерактивной технологии Карт Google, или просто из таблицы по названию и номеру станции. Данные до 2010 г. Текстовый формат.

2. Государственный океанографический институт (ГОИН):

**<http://www.oceanography.ru/index.php/ru/2010-12-01-06-45-18>**

Интерактивный сервис, позволяющий предвычислить приливный уровень в морях Севера и Дальнего Востока России.

3. Оперативная океанографическая система Балтики:

**<http://www.boos.org/index.php?id=22>**

Ежесуточно обновляемые ежечасные данные за последнюю неделю в интерактивной форме выбора в Кронштадте и Санкт-Петербурге, а также прогностические данные об уровне на одни сутки вперед.

### **1.2. Альтиметрические наблюдения**

Метод спутниковой альтиметрии позволяет получить оценки уровня поверхности океана практически на всей его акватории, а не только вдоль береговой черты. Как показано на рис. 7, спутниковая альтиметрия осуществляет измерение расстояния между спутником и поверхностью отражения по времени прохождения сигнала бортового радарного высокотомера, передающего со скоростью света высокочастотные радиосигналы и получающего отраженный от морской поверхности сигнал. Независимое определение параметров орбиты спутника (широта, долгота, высота) относительно земного эллипсоида позволяет найти высоту уровня океана. При этом альтиметрические измерения, отсчитываемые от поверхности геоида, показывают возмущения относительно среднего стационарного состоя-

ния уровенной поверхности океана. Для калибровки альтиметров в GLOSS предусмотрена дополнительная сеть измерителей уровня, расположенная в основном на островах по всей акватории Мирового океана.

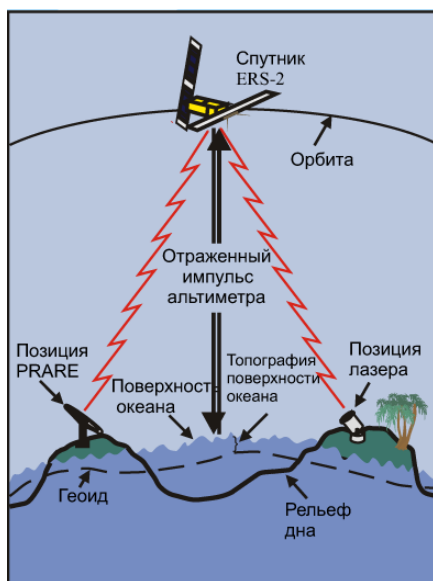


Рис. 7. Принцип альтиметрических измерений.

### 1.2.1. Зарубежные альтиметрические наблюдения

Альтиметрические данные являются спутниковой информацией, поэтому их качество зависит от истории развития спутниковых систем. На рис. 8 показана временная линия развития систем альтиметрических наблюдений.

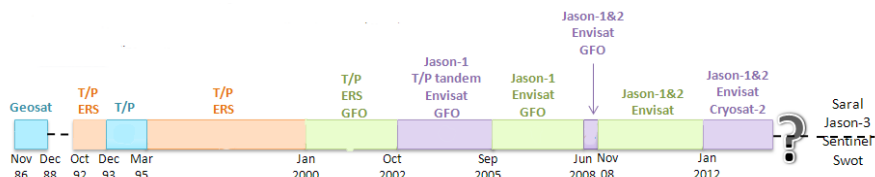


Рис. 8. Историческая шкала развития спутниковой альтиметрии. Сверху надписаны названия спутников, снизу – периоды их работы.

Впервые о возможности создания новой дисциплины – космической океанографии с помощью радиолокационных измерительных приборов обсуждалось на съезде в Виллиамстоуне в 1969 году.



Таким образом, *спутниковая альтиметрия* первоначально предназначалась для измерения уровня моря на основе комбинации радара, используемого для измерения расстояния от спутника до отражающей поверхности, и техники позиционирования, что позволяет определить очень точное положение спутника на орбите.

Первые альтиметрические измерения производились для определения топографии поверхности океана. Первой страной, запустившей спутниковые альтиметры, были США с миссиями *Skylab* и *Geos3*, *Seasat* в 1978 и *Geosat* в 1985 году. В 1991 году Европейское космическое агентство запускает проект *ERS-1*: последовательно располагаясь на 3-х различных орбитах, он содержит несколько инструментов, включая радиолокационный высотомер.

В 1987 году было создано официальное партнерство для совместных проектов, включающее участие французских и американских инструментов — американский спутник был запущен с помощью европейской ракеты (*Ariane 4*). Это стал *Topex / Poseidon*.

Глобальные наблюдения океана являются одним из его основных возможностей: десять дней спутниковых измерений *Topex / Poseidon* предоставили более подробную информацию, чем наблюдения *in situ* за последние сто лет. Успех этой миссии привел к повышению качества данных (с переработкой измерений), обеспечил непрерывность и однородность данных на протяжении более чем 13 лет, а также научное, техническое и человеческое сотрудничество.

Во время миссии *Topex / Poseidon* были запущены новые высотомеры: *ERS-2* (1995), *GFO* (1998), *Jason-1* (2001) и *Envisat* (2002).

Сочетание нескольких спутников обеспечивает высокую точность альтиметрических измерений и позволяет решить дилемму: пространственное разрешение против временного разрешения. *Topex / Poseidon — ERS* и *Jason-Envisat* прекрасные примеры того, как спутниковые альтиметры могут работать вместе. При совместной работе более трех спутников на поверхности океана уже можно адекватно разрешать синоптические вихри. Пример изображения поверхности океана приведен на рис. 9.

Увеличение скоростей и объемов систем обработки позволило альтиметрии влиться в ассимиляционные модели практически в режиме реального времени в сочетании с другими данными (футшточными, температурой воды, соленостью и т.д.).

Таким образом, на настоящий момент важно и дальше обеспечивать достаточное пространственное разрешение для мезомасштабных наблюдений и оперативного применения: для мезомасштабных наблюдений необходимо существование в рабочем состоянии по крайней мере двух альтиметрических спутников. Для оперативного применения — три, или даже лучше, четыре, действующих спутника.



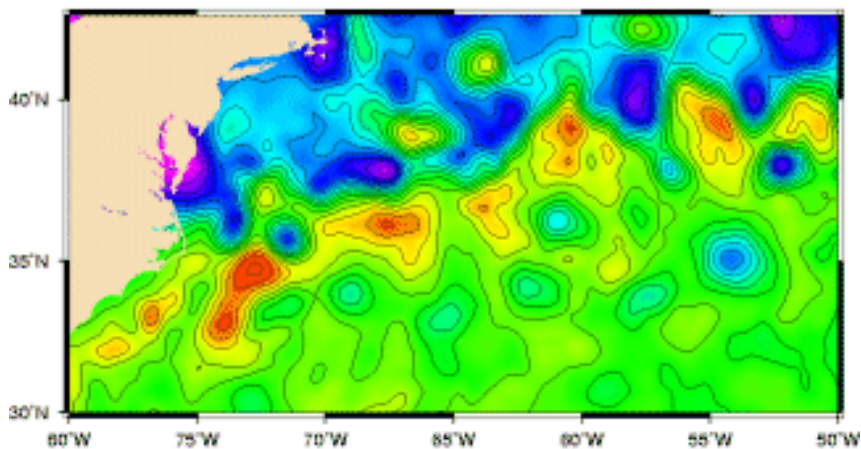
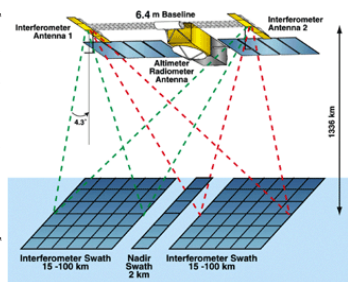


Рис. 9. Вихри Гольфстрима, хорошо видимые благодаря совмещенным измерениям нескольких спутников (здесь *Topex / Poseidon* и *ERS*).

В феврале 2012 года была введена новая 4-спутниковая конфигурация введением в действие французской системы *CryoSat-2* (*Jason-1*; *Envisat*, *Jason-2* и *CryoSat-2*). Это позволяет получить больше данных для моделей ассимиляции, более высокое разрешение для многоцелевых мезомасштабных карт и улучшить устойчивость системы наблюдения, если старые альтиметры выйдут из строя.

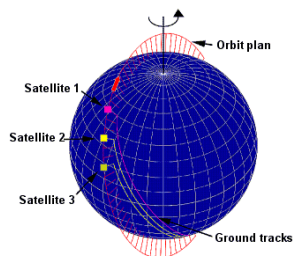
В дальнейшем предполагаются следующие направления усовершенствований альтиметров:

- альтиметрия в Ка-диапазоне. Альтиметр в Ка-диапазоне (35 ГГц) будет гораздо меньше страдать от ионосферы, чем альтиметр в Ку-диапазоне, будет иметь более высокую эффективность в плане вертикального разрешения, временной декорреляции эха, пространственного разрешения и диапазона шумов. С улучшением алгоритмов адаптированного прохода, может быть выполнено практически непрерывное отслеживание высот всем видам поверхности, что особенно важно вблизи побережья. Основным недостатком является то, что в Ка-диапазоне датчики чувствительны к дождю. Тем не менее, это не мешает им иметь довольно высокое качество измерений, за исключением зон с сильными ливнями. Альтиметр в Ка-диапазоне, AltiKa, установлен на спутник *Saral*, предполагаемый к запуску в 2013 году;
- альтиметр/интерферометр, который будет включать в себя несколько альтиметров,

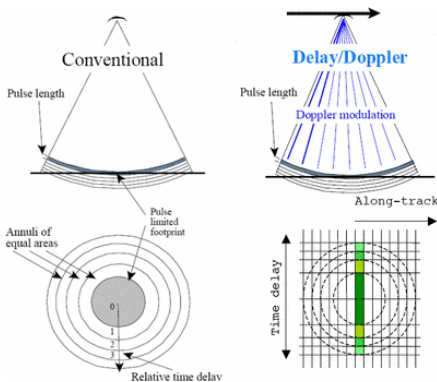


установленных на одной мачте с разнесением порядка 6 м, которые будут производить измерения одновременно, обеспечивая тем самым непрерывность и более широкую зону охвата. Данное усовершенствование планируется внедрить в 2013-2016 гг.;

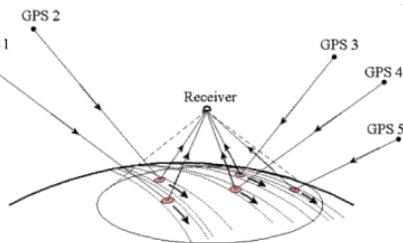
- созвездия. Одним из способов улучшения разрешения альтиметрии является использование нескольких спутников одновременно. До сих пор это было сделано с очень различными типами спутников. Использование нескольких идентичных спутников в созвездии может снизить затраты на их разработку и запуск.



- альтиметры SAR/Delay Doppler. Альтиметр SAR/Delay Doppler отличается от обычного радиолокационного высотомера в том, что он использует когерентную обработку группы передающих импульсов. Он не ограничен в количестве импульсов, как классические радарные альтиметры, так что его полная пропускная способность может применяться для наиболее эффективного использования мощности отраженного от поверхности сигнала. Альтиметр SAR/Delay Doppler предлагает множество потенциальных улучшений для измерения над океанами, прибрежными зонами и внутренними водами. В SAR режиме будут работать альтиметры на спутниках *CryoSat-2* и *Sentinel-3*, планируемых к запуску в 2014 г.;



- измерения высоты с помощью GPS. Один из подходов, используемый для достижения максимального охвата данными альтиметрии — использование отраженных сигналов, передаваемых спутниками Глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS), в частности, от системы глобального позиционирования GPS и ее европейского гражданского аналога Galileo. Основная концеп-



ция основана на том, что спутник на ближайшей полярной орбите (на высоте от 400 до 500 км) получает сигналы, испускаемые несколькими спутниками GPS и отраженными поверхностью океана. Эти сигналы анализируются для вычисления высоты поверхности моря.

**Ошибки альтиметрических измерений.** Наиболее точными альтиметрическими измерениями являются данные спутников TOPEX/POSEIDON и Jason. Основными источниками ошибок этих данных являются:

- инструментальный шум, волнение на поверхности, водяной пар, свободные электроны в ионосфере, масса атмосферного столба. Оба спутника оборудованы высокоточной альтиметрической системой, способной измерять высоту спутника над поверхностью моря в пределах  $\pm 66^\circ$  по широте с погрешностью  $\pm (1-2)$  см и точностью  $\pm (2-5)$  см. Эта система состоит из двухчастотного радарного альтиметра, измеряющего высоту над поверхностью моря, влияние ионосферы и высоту волнения, и трехчастотного микроволнового радиометра для измерения содержания водяного пара в тропосфере;
- ошибки положения трека. На борту спутника установлены три системы, обеспечивающие его ориентацию в пространстве и эфемеридное сопровождение с точностью  $\pm (1-3,5)$  см;
- ошибки измерений. Спутник измеряет высоты вдоль наземных треков, циклически повторяющихся с точностью  $\pm 1$  км через каждые 9,9156 дней. Поскольку течения измеряются только вдоль подспутниковых треков и спутник не может регистрировать топографию между треками, то возникают ошибки измерений. Также спутниковые данные не позволяют регистрировать изменчивость топографии с периодами меньшими  $2 \times 9,9156$  дней;
- ошибки формы геоида. Топография геоида плохо известна на масштабах меньше ста километров, где доминируют локальные эффекты. Для исследований главных особенностей постоянных поверхностных геострофических течений используются топографические карты, сглаженные на больших масштабах. Новые спутниковые системы GRACE и CHAMP производят гравиметрические измерения с точностью достаточной для того, чтобы пренебречь ошибками в форме геоида на масштабах больших 100 км.

Совокупный эффект всех ошибок приводит к точности измерения высоты спутника над морской поверхностью в  $\pm (2-5)$  см в геоцентрической системе координат.

### 1.2.2. Российские альтиметрические наблюдения

Российская программа альтиметрических измерений высот морской поверхности началась в 1985 году запуском спутника из серии КОСМОС.

Первоначально она выполнялась Топографической службой Министерства обороны и носила закрытый характер. В 1992 году данные спутниковой альтиметрии переданы в организации Российской академии наук для открытого их использования.

С мая 1985 года в эксплуатации находился космический геодезический комплекс ГЕОИК. Основным его элементом являлся один из спутников серии «Космос», предназначенных для изучения Земли и околоземного пространства. Космический аппарат (КА) выводился на близкруговую орбиту высотой около 1500 км и наклоном 74 или 83 градусов. По состоянию на 1996 год было запущено 10 спутников, оснащенных как радиовысотомером (РВ), так и бортовой геодезической аппаратурой. Точность измерений радиовысотомера (инструментальная ошибка) для разных спутников составила от 0,5 до 0,8 м. Основными научными результатами программы ГЕОИК являются: модели геопотенциала ПЗ-90 до 36-й степени разложения и ПЗ-200 до 200-й степени; уточненные координаты пунктов мировой космической геодезической сети (КГС), а также каталог высот геоида на акватории Мирового океана.

По состоянию на май 1996 г. выполнение этой программы обеспечило получение десятью КА 19,3 млн. радиовысотомерных измерений. Фактическое время активного существования каждого КА составляло от нескольких недель до 18 месяцев. При этом иногда одновременно работало 2 КА, чаще — один.

Доступ к данным ГЕОИК прекращен осенью 1995 г.

На основе данных ГЕОИК была создана Интегрированная база данных спутниковой альтиметрии (ИБДСА) Геофизического центра Объединенного института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ГЦ РАН).

В настоящее время российских альтиметров на околоземной орбите нет и не планируется.

### **Доступ к данным**

#### ***Данные непосредственных измерений или в сетке.***

1. Официальный проект AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data). Данные системы Ssalto/Duacs:

**<http://www.aviso.oceanobs.com/en/data/products/sea-surface-height-products.html>**

Данные представляют из себя аномалии уровня моря (SLA) и пересчитываемые из него продукты, такие как динамическая топография (ADT) и геострофические скорости с октября 1992 г.

Ошибки данных. Прежде всего это формальные ошибки отображения карты, которые представляют собой ошибки поля аномалий уровня моря, полученные объективным анализом.

Радиолокационный высотомер точно измеряет в диапазоне от антенны радара до поверхности океана. На измерения влияют ошибки:

- инструментальные (шум альтиметра);
- ошибки, связанные с передачей импульса через атмосферу;
- ошибки положения на орбите.

В системе **Ssalto/Duacs**, все эти ошибки снижаются благодаря сглаживанию оценки, вычисления атмосферной поправки (тропосферы и ионосферы) и минимизации длинноволновых ошибок с помощью сплайнов и фильтрации.

Расчет уровня моря вдоль треков альтиметра также учитывает океанографические вариации, такие как приливы и эффект атмосферного давления. Более того, ошибка для оценки уровня моря вдоль треков зависит от широты точек. Это около 3 см в открытом океане и может достигать до 7 см на берегу моря или в полужакрытых морях. Значения у берегов или в полужакрытых морях зависят от используемых коррекций (например, приливной модели). Наконец, для океанографических применений, отображение процессов на основе объективного анализа позволяет получить в сетке соответствующие формальные ошибки отображения полей аномалий уровня моря Мирового океана.

Что касается геострофической скорости, ошибки скорости происходят из ошибок SLA, добавляя некоторые приближения в связи с предположением геострофического баланса. Карты ошибок выражаются в процентах от дисперсии сигнала и позволяют оценить относительную ошибку, допущенную при картировании процесса.

В системе **Ssalto/Duacs**, предоставляется два вида временных рядов:

- один генерируется по данным максимум двух спутников (обозначается «Ref» за «Reference»), где качество продукта является однородным с течением времени. Эта серия предназначена для анализа долгосрочных изменений для анализа больших структур, в районах, где изменчивость океана слабая;
- другой генерируется по данным доступных в данный момент времени максимум 4 спутников (обозначается «Upd» за «Up-To-date»); качество продукта улучшается благодаря лучшей выборке, но оно не однородно. Эти ряды особенно полезны при анализе областей интенсивной мезомасштабной изменчивости или определенного малого периода времени. Все данные представлены в формате NetCDF.

В табл. 2 приведено описание данных в глобальном представлении (от 82° ю.ш. до 82° с.ш.).

Данные также доступны для отдельных регионов, таких как Северо-Восточная часть Атлантического океана (30°N-70°N, 45°W-20°E), Мексиканский залив, Средиземное и Черное моря, область Мозамбика (0°S-30°S, 30°E-60°E), Арктическая область (45°N-82°N / 0°E-360°E) и область Европы (21°N-66°N/-25°W-42°E) (табл. 3).

Таблица 2

**Описание данных в системе Ssalto/Duacs в глобальном представлении**

Тип Данных	Форма данных	Доступность
Аномалии уровня моря и геострофической скорости	суточные в сетке $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ и $1^\circ \times 1^\circ$ Меркаторской проекции	Регистрация
Аномалии уровня моря	месячные, сезонные и климатические, в сетке $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ и $1^\circ \times 1^\circ$ Меркаторской проекции и карты	Свободно
Абсолютная динамическая топография и абсолютные геострофические скорости	в сетке $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ и $1^\circ \times 1^\circ$ Меркаторской проекции $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ картезианской проекции	Регистрация
Аномалии уровня моря	Вдольтрековые	Регистрация
Абсолютная динамическая топография	Вдольтрековые	Регистрация
Аномалии уровня моря для каждого спутника отдельно (monomission)	Вдольтрековые	Свободно
Аномалии высоты уровня моря по спутнику Jason2	Вдольтрековые	Свободно
Прибрежные и гидрологические продукты по спутнику Jason2	Вдольтрековые	Свободно

Таблица 3

## Описание данных в системе Ssalto/Duacs в региональном представлении

Регион	Тип данных	Тип данных	Доступность
Северо-Восточная часть Атлантического океана	Аномалии уровня моря	Вдольтрековые	Регистрация
Мексиканский залив	Аномалии уровня моря	Вдольтрековые	Регистрация
Средиземное море	Аномалии уровня моря и геострофической скорости	Вдольтрековые и в сетке $1/8^\circ \times 1/8^\circ$ Меркаторской проекции	Регистрация
	Средние месячные и климатология аномалий уровня моря и геострофической скорости	в сетке $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ Меркаторской проекции	Свободно
	Абсолютная топография и геострофические скорости	Вдольтрековые и в сетке Меркаторской проекции $1/8^\circ \times 1/8^\circ$	Регистрация
Черное море	Аномалии уровня моря и геострофической скорости	Вдольтрековые и в сетке $1/8^\circ \times 1/8^\circ$ Меркаторской проекции	Регистрация
	Средние месячные и климатология аномалий уровня моря и геострофической скорости	в сетке $1/3^\circ \times 1/3^\circ$ Меркаторской проекции	Свободно
	Аномалии уровня моря	Вдольтрековые	Регистрация
Мозамбик	Аномалии уровня моря и геострофической скорости	Вдольтрековые и в сетке $1/8^\circ \times 1/8^\circ$ Меркаторской проекции	Регистрация
	Аномалии уровня моря	Вдольтрековые	Регистрация
Арктика	Аномалии уровня моря	Вдольтрековые	Регистрация
Европа	Аномалии уровня моря	Вдольтрековые	Регистрация

2. Центр распределенных архивов физической океанографии Лаборатории JPL Калифорнийского технологического института:

**<ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/>**

Месячные значения высоты свободной поверхности из базы AVISO в сетке  $1^\circ \times 1^\circ$  (см. табл. 2), распространяемые свободно, упакованные в один файл.

Все находящиеся в открытом доступе данные, в том числе трековые и в сетке: **<http://podaac.jpl.nasa.gov/PO.DAACLegacyProducts>**

3. Кооперативный исследовательский центр Антарктического климата и экосистем Австралии (руководитель Джон Черч (J.Church)):

**[http://www.cmar.csiro.au/sealevel/sl\\_data\\_cmar.html](http://www.cmar.csiro.au/sealevel/sl_data_cmar.html)**

Данные комбинации измерений TOPEX/Poseidon, Jason-1 and Jason-2/OSTM в глобальном охвате от 65°S до 65°N, в сетке 1°×1°, усредненные за 1 месяц с января 1993 по текущий момент.

Данные представлены в разных комбинациях поправок: на обратный барометр, GIA (гляциоизостатической), а также с удалением и без удаления сезонного сигнала.

В формате netCDF.

4. Центр топографии океанов и гидросферы Франции:

**<http://ctoh.legos.obs-mip.fr/products>**

Вдольтрековые измерения отдельных спутников. Данные доступны только по личному запросу.

5. Исследовательская группа уровня моря Университета Колорадо в Боулдере, США:

**<http://sealevel.colorado.edu/content/interactive-sea-level-time-series-wizard>**

Аномалии уровня моря в сетке 1°×1°.

В формате netCDF.

5. Интегрированная база данных спутниковой альтиметрии Геофизического центра РАН. (информация не обновлялась с 1999 г.):

**<http://www.wdcb.ru/ALTIM/welcome.html>**

Представлены исправленные высоты уровенной поверхности по подспутниковым трекам разных спутников (включая ГЕОИК) с 1985 г. С 1996 г. — только по зарубежным спутникам.

Данные формируются по запросу (информация не обновлялась с 1999 г.).

### *Данные об среднем глобальном уровне моря.*

1. Официальный проект AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data). Данные системы Ssalto/Duacs:

**<http://www.aviso.oceanobs.com/en/news/ocean-indicators/mean-sea-level/products-images.html>**

Временные ряды среднего глобального уровня моря, усредненные времени наблюдений глобальные поля уровня в точках сетки 1°×1°, а также оцененные линейные тренды в точках сетки 1°×1°. В разных комбинациях поправок: на обратный барометр, GIA (гляциоизостатической), а также с удалением и без удаления сезонного сигнала.

В формате netCDF и ASCII.

2. Лаборатория спутниковой альтиметрии NESDIS NOAA (США):

**[http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/SeaLevelRise/LSA\\_SLR\\_timeseries\\_global.php](http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/SeaLevelRise/LSA_SLR_timeseries_global.php)**

Усредненные по разным комбинациям спутников временные ряды



среднего глобального уровня моря. В разных комбинациях поправок: на обратный барометр, GIA (гляциоизостатической), а также с удалением и без удаления сезонного сигнала.

В формате netCDF, текстовом, PDF и рисунки.

**[http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/SeaLevelRise/LSA\\_SLR\\_timeseries\\_regional.php](http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/SeaLevelRise/LSA_SLR_timeseries_regional.php)**

Усредненные по разным комбинациям спутников временные ряды уровня моря *для различных крупных регионов*, таких как части океанов и моря. В разных комбинациях поправок: на обратный барометр, GIA (гляциоизостатической), а также с удалением и без удаления сезонного сигнала.

В формате netCDF, текстовом, PDF и рисунки.

3. Исследовательская группа уровня моря Университета Колорадо в Боулдере, США:

**<http://sealevel.colorado.edu/>**

Усредненные по измерениям спутников Jason и TOPEX временные ряды среднего глобального уровня моря с учетом футшточных поправок. С поправками на обратный барометр, GIA (гляциоизостатической), а также с удалением и без удаления сезонного сигнала.

В формате ASCII, PDF и рисунки.

**<http://sealevel.colorado.edu/content/regional-sea-level-time-series>**

Усредненные по измерениям спутников Jason и TOPEX временные ряды уровня моря *для различных крупных регионов*, таких как части океанов и моря. С поправкой на обратный барометр, без поправки GIA (гляциоизостатической), без удаления сезонного сигнала.

В текстовом формате.

#### ***Анимации и иллюстрации.***

С помощью специального сервиса можно построить карты на выбранный момент времени для любого участка земной поверхности:

**<http://las.aviso.oceanobs.com/las/getUI.do>**

**[http://eddy.colorado.edu/ccar/ssh/nrt\\_global\\_grid\\_viewer](http://eddy.colorado.edu/ccar/ssh/nrt_global_grid_viewer)**

Файлы с видеоматериалами:

**<http://sealevel.jpl.nasa.gov/science/timeseries/sshsstanimarchive/>**

**[http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/SeaLevelRise/LSA\\_SLR\\_movies.php](http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/SeaLevelRise/LSA_SLR_movies.php)**

## **2. ОСОБЕННОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ФАЙЛОВ РАЗНЫХ ФОРМАТОВ**

### **2.1. Текстовый формат или ASCII**

**ASCII** — аббревиатура от *American Standard Code for Information Interchange* — стандартный американский код обмена информацией, код для представления символов английского алфавита в виде чисел, каждой букве сопоставлено число от 0 до 127. В большинстве компьютеров код ASCII используется для представления текста, что позволяет передавать данные от одного компьютера на другой.

Текстовые редакторы и текстовые процессоры обычно могут сохранять данные в формате ASCII. Большинство файлов данных, особенно, если они содержат числовые данные, сохраняются в ASCII формате.

Стандартный набор символов ASCII использует только 7 битов для каждого символа. Есть несколько наборов символов, которые используют 8 бит, что дает дополнительно 128 символов. Дополнительные символы используются для отображения символов не английского алфавита, графических и математических символов.

Файлы данных в формате ASCII легко открываются всеми возможными текстовыми редакторами и табличными процессорами, такими как Excel, OpenOffice и др. и не требуют особой обработки. Этот формат имеет несомненное преимущество в том, что данные можно сразу посмотреть после получения, чтобы определить, нужный ли файл был получен. Однако, очень большие объемы информации в представлении ASCII занимают большой объем памяти, из-за этого плохо передаются по сетям и практически не оперируются никакими средствами визуализации.

Поэтому для передачи больших объемов информации, таких как глобальные данные не используются.

### **2.2. Формат netCDF**

**NetCDF** — это формат файлов, широко использующийся для хранения различных массивов данных. Обычно имеет расширение «\*.nc» Изначально, он был разработан для записи и хранения данных о погоде (температуре, давлении на разных высотах над уровнем моря в точках с различными координатами). Сегодня формат NetCDF хорошо разработан и применяется повсеместно, некоторые модели даже сохраняют нѐм свои результаты. Особенно после того, как в нем был реализован алгоритм параллельного доступа к данным, т.е. возможность одновременной записи и чтения информации, а значит, архив может оперативно пополняться и быть открытым для чтения и обработки.

В отличие от ASCII формата NetCDF является **бинарным**, что ограничивает возможности его чтения, включая визуальное, но при этом значительно уменьшает размер файла данных. Также обеспечивая «кроссплатформенность», т.е. информация отражается одинаковым образом на всех компьютерах и операционных системах, что для научного мира очень актуально. Для работы с такими файлами есть интерфейсы для Java, C, C++, Fortran 77/90+, Perl, Python, Ruby. Возможность простого использования широкого круга обработчиков для работы с NetCDF обусловлена тем, что он является самодocumented форматом, т.е. в файле уже содержатся все метаданные с необходимой информацией о характеристиках, которые в нем хранятся, например такие как единицы измерения для переменных, описания и т.д.

Существует два вида форматов NetCDF – классический 32 битный и 64 битный, созданный для поддержки файлов размером более 2 Гигабайт. 64 битный формат введен начиная с NetCDF версии 3.6.

**Структура формата.** В стандартном виде NetCDF представляет из себя набор из трех основных компонент: измерений (dimensions), переменных (variables) и атрибутов (attributes), каждый из которых имеет имя и идентификационный номер (ID). Схематично структура формата NetCDF представлена на рис. 10.

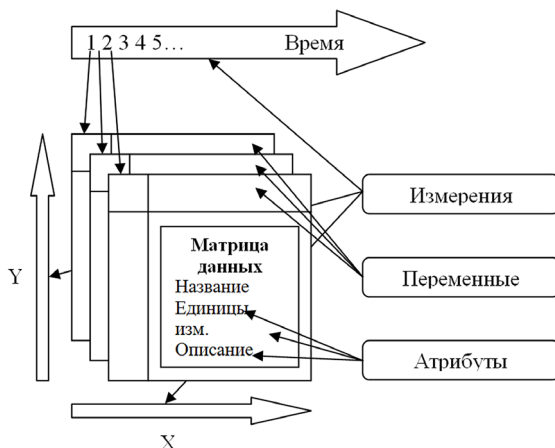


Рис. 10. Структурная схема формата NetCDF.

**Измерение** — это информация о количестве элементов по осям массива (например X,Y,T), одна из них может быть с неограниченным числом элементов, которую обычно используют для описания времени (T). В NetCDF4 возможна организация нескольких неограниченных измерений. Измерение в NetCDF имеет **имя и длину**. По сути измерения можно воспринимать как размерности матрицы, которую представляют собой данные. В альтиметри-

ческих задачах измерения используются для обозначения узлов пространственной сетки на каждый момент времени.

**Переменные.** Под переменной в NetCDF понимают массив самих данных одного типа, количество записей в котором четко определяется измерениями, передаваемыми при создании переменной. Одно измерение определяет одну из осей массива. Переменные координат и времени имеют по одной оси. Переменная NetCDF может содержать следующие типы данных: **byte, character, short, int, float, и double**, а NetCDF4 позволяет использовать и **unsigned short, unsigned int, 64-bit int, unsigned 64-bit int, и string**.

**Атрибуты или Метаданные.** Метаданные могут быть как глобальными (т.е. относиться ко всему файлу) так и локальными для каждой конкретной переменной или группы. Количество атрибутов не ограничено, они задаются в формате «**Name:Value**», их имена могут быть любыми, но обычно используются стандартные, которые можно найти в руководстве по netCDF. Причина их использования проста — существует очень много программ общего назначения, работающих с NetCDF файлами, предназначенных, для просмотра и обработки информации. Они считывают лишь стандартизированные атрибуты.

Таким образом, каждая **переменная в NetCDF — это обычный многомерный массив**. А файл netCDF — это архив массивов с удобным поиском по файлу, который не нужно реализовывать самостоятельно, с возможностью добавления комментариев.

Дополнительную информацию о формате NetCDF можно получить по адресу: <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/netcdf/>

**Перевод файлов NetCDF в текстовый формат.** Существует несколько простых способов перевода файлов NetCDF в текстовый формат, затем, чтобы потом их можно было использовать для расчетов в Excel или построения карт в пакете Surfer.

**1. Настройка Excel — NetCDF4Excel.** Эта настройка написана на VBA 6.0 (таким образом, она не будет работать с 64 битной Office 2010) и предназначена для **Excel 2007** в операционной системе Microsoft Windows.

Настройка позволяет открыть NetCDF данные в Excel для чтения или записи.

Поддерживаемые структуры данных: отдельные значения; векторы с длиной измерений до 1048576; численные матрицы с N измерениями ( $N < 16348$ ) такой длины, чтобы N, умноженное на длину не превышало 1048576; буквенные матрицы с  $M < 4$  измерениями (одно из них должно быть константой — числом букв в строке).

Для того, чтобы воспользоваться этой настройкой:

- Нужно загрузить файл *NetCDF4Excel\_2\_1\_setup.exe* по адресу <http://code.google.com/p/netcdf4excel/downloads/list> и запустить его на установку.

- После установки в меню «Пуск» в списке установленных программ появится строка «*NetCDF4Excel*». Для запуска нужно выбрать в ней *NetCDF4Excel\_2007.xlsm*
- Откроется файл Excel. В случае, если в настройках Excel отключено выполнение макросов, вверху страницы над строкой формул появится предупреждение системы безопасности о том, что макросы отключены. **Их нужно включить!** нажав на кнопку «параметры» рядом с сообщением. Тогда в меню «Надстройки» появится кнопка с надписью «NetCDF».
- Нажав на эту кнопку можно выбрать функцию действия с файлами формата NetCDF: открыть весь файл, прочитать заголовок (метаданные) файла, прочитать переменную, сохранить файл.
- Выбрав «открыть файл», нужно выбрать файл для открытия.  
**Внимание!** Если файл слишком велик, он открывается долго, а также может «не влезть» в Excel, который имеет ограничения по объему и памяти, тогда машина «повиснет».
- Когда файл открылся, его содержимое представлено в нескольких листах: описание данных и их форматы представления (метаданные); и далее на каждом отдельном листе отдельные переменные, которые можно скопировать в другую книгу и сохранить в нужном для обработки формате, отличном от NetCDF.

2. Использование **специально разработанных программ** для манипулирования NetCDF-файлами. Одной из таких широко используемых программ является **cdf2asc.exe**, которую можно скачать по адресу **[http://science.arm.gov/~cflynn/ARM\\_Testing\\_Tools/](http://science.arm.gov/~cflynn/ARM_Testing_Tools/)**. Там же можно взять другие программы манипулирования CDF-файлами.

Удобнее всего работать с этой программой так, чтобы в одной папке находились программа, обрабатываемые файлы и специальный файл **cygwin1.dll (обязательно)**, который можно загрузить из сети Интернет, например, отсюда **<http://www.dll-files.com>**

Для выполнения экспорта из CDF в ASCII придется дополнительно устанавливать файловый менеджер с командной строкой, типа FAR или Total Commander.

В командной строке файлового менеджера, находясь в папке обработки нужно набрать, например: **cdf2ascii data.cdf > result.dat** где вместо data.cdf указать имя своего исходного файла, а вместо result.dat — имя файла результата. Тогда в папке с программой и файлами появится новый файл с результатом экспорта, в котором в столбцах расположены значения переменных. Одним из недостатков этого способа является незначительное описание метаданных в результирующем файле, так что лучше всего предварительно точно знать, какие переменные присутствуют в файле и в каких пределах они изменяются, особенно это касается моментов времени.

### **3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ГЛОБАЛЬНЫХ АРХИВОВ ИНФОРМАЦИИ**

В наибольшем объеме *исходный набор данных* представляет собой матрицу, состоящую из пространственных полей характеристики на каждый из  $N$  моментов времени, т.е. трех- ( $\varphi, \lambda, t$ ) или четырехмерное ( $\varphi, \lambda, z, t$ ) поле. Можно работать и с такой большой матрицей, но для выявления более общих или более ярких особенностей, такую матрицу чаще всего *приводят к меньшей размерности* путем усреднения характеристики по одной из координат или выбора лишь одного случая по какой-либо координате.

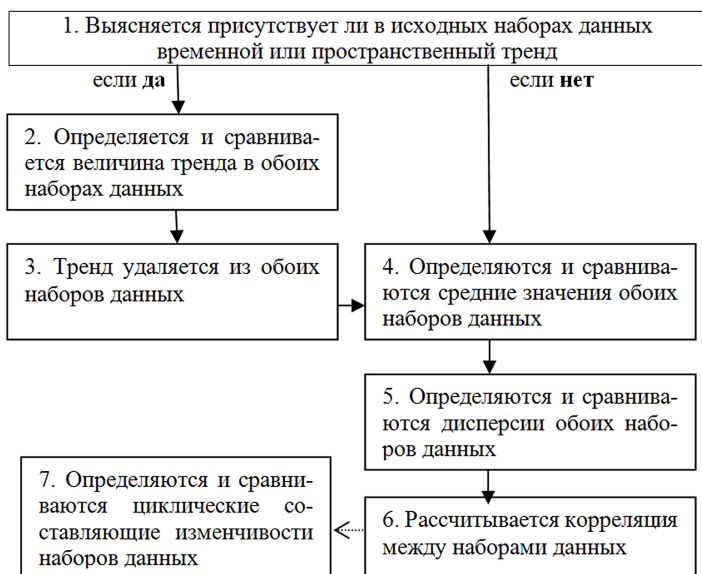
Например, для глобальной оценки уровня Мирового океана проводится усреднение до одного значения всего огромного глобального поля высот морской уровенной поверхности за каждый момент времени, получается временной ряд, который удобно подвергать статистическому исследованию. Или, усредняют уровень моря по всем долготам и по времени, получают ее среднее многолетнее широтное распределение от полюса до полюса, что отражает другие свойства уровня Мирового океана.

Кроме одномерных рядов таким же образом получают двумерные ряды, чаще всего карты каких-либо параметров характеристики на земной поверхности.

#### **3.1. Сравнение двух наборов данных**

В связи с тем, что проект AVISO предоставляет в свободном доступе вдольтрековые измерения уровенной поверхности, многие организации, использующие в своих исследовательских проектах альтиметрическую информацию, самостоятельно разрабатывают комплексы поправочных коэффициентов, а также алгоритмы обработки и «гридирования» (получения данных в географической сетке). Поэтому часто возникает необходимость сравнения результатов мониторинга, выполненных в разных центрах по различающимся методикам. Так же выполняется сравнение альтиметрических данных с футшточными измерениями.

Сравнение выполняется с помощью нескольких статистических методов по следующей схеме:



Рассмотрим технологию статистических исследований по шагам этой схемы.

Предварительно нужно сделать замечание, что сравнению должны подвергаться наборы данных, полученные одинаковым способом и имеющих однотипную структуру. Например нет смысла сравнивать данные с сезонным ходом и те, где сезонный ход удален.

**1 шаг.** Для того, чтобы выяснить, присутствует ли в исходных наборах данных тренд можно:

- 1) построить рисунок временной изменчивости и визуально определить, есть тренд или нет. Для пространственных рядов – построить карту усредненных во времени значений. Если это не очевидно, тогда
- 2) использовать простой алгоритм:
  - рассчитать средние значения по несколькоу небольшому количеству чисел в начале и конце временного периода или, для пространственных полей – в одной части поля и в противоположной;
  - сравнить эти средние значения по критерию Стьюдента:

Сформулируем нулевую гипотезу  $H_0: x_1 = x_2$ ; Альтернативную,  $H_1: x_1 \neq x_2$ .

Для проверки гипотезы выберем  $t$ -критерий Стьюдента и рассчитаем его эмпирическое значение:

$$t^* = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{N_1 D_1 + N_2 D_2}} \sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 - 2)}{N_1 + N_2}},$$

где  $D_1$  и  $D_2$  — дисперсии в пределах двух выбранных частей выборки соответственно;  $N_1$  и  $N_2$  — количество чисел, участвующих в расчете среднего соответствующих двух частей.

Определим критическое значение критерия Стьюдента  $t_{кр}$  по уровню значимости  $\alpha = 0,05$  и числу степеней свободы  $\nu = N_1 + N_2 - 2$ .

Сравним эмпирическое и критическое значения критерия. Если эмпирическое значение больше критического (по модулю), нулевая гипотеза отвергается. Следовательно, различия в средних значениях двух выборок статистически значимы (при заданном  $\alpha$ ).

- Тогда делается вывод, что характеристика от начала к концу исследуемого временного периода *значительно изменилась*, что свидетельствует о возможном присутствии временного тренда в исходной характеристике.

**2 шаг.** Проводится аппроксимация изменчивости характеристики полиномом первой степени относительно времени или пространственных координат. Определить коэффициенты полинома можно методом наименьших квадратов на основе технологии множественной линейной регрессии. Тогда *величина тренда* по времени или направлению в пространстве будет представлять собой коэффициент регрессии при соответствующей координате ( $a_1$  или  $a_2$ ), а само уравнение регрессии — *уравнение тренда*:

$$SSH = a_1 t + a_0 \quad \text{или} \quad SSH = a_1 \varphi + a_2 \lambda + a_0,$$

где  $t$  — время;  $\varphi$  — широта,  $\lambda$  — долгота.

Эта процедура выполняется по одинаковой технологии отдельно для каждого из двух сравниваемых наборов данных.

Величина тренда для двух наборов данных сравнивается. Делается вывод о природе различий в зависимости от первоисточника получения данных.

**3 шаг.** Тренд удаляется простым вычитанием из каждого исходного значения характеристики, значения, рассчитанного по уравнению тренда, полученному на 2 шаге.

$$\Delta SSH_i = SSH_i - (a_1 t_i + a_0) \quad \text{или} \quad \Delta SSH_j = SSH_j - (a_1 \varphi_j + a_2 \lambda_j + a_0).$$

**4 шаг.** После удаления тренда основные статистические характеристики наборов данных, такие как средние значения и дисперсия, изменяются. Поэтому необходимо заново сравнить эти наборы данных:

- по средним значениям. Рассчитываются два средних значения для каждого полного набора данных. Далее эти средние значения проверяются на статистическое равенство по критерию Стьюдента, так же как на шаге 1.



Если средние значения статистически при заданном уровне значимости не равны, это свидетельствует о *систематической ошибке* — завышении или занижении значений исследуемой характеристики (например, уровня) в одном из них. Тогда нужно объяснить природу возникновения этой ошибки и доказать предпочтение в использовании одного из этих наборов данных.

**5 шаг.** Сравнение данных по дисперсии. Так же как и средние значения, можно сравнить степень изменчивости характеристики в двух выборках, т.е. их дисперсию.

Сформулируем нулевую гипотезу  $H_0: D_1 = D_2$ ; альтернативную  $H_1: D_1 \neq D_2$ .

Для проверки гипотезы используется *F*-критерий Фишера. Рассчитаем его эмпирическое значение:

$$F^* = \frac{D_1}{D_2} \quad \text{или} \quad \frac{D_2}{D_1} (F^* > 1),$$

где  $D_1$  и  $D_2$  — дисперсии каждого из двух наборов данных соответственно.

Определим критическое значение критерия Фишера  $F_{кр}$  по уровню значимости  $\alpha = 0,05$  и числам степеней свободы  $\nu_1 = N_1 - 1$  и  $\nu_2 = N_2 - 1$ , где  $N_1$  и  $N_2$  — количество чисел в наборах данных, для которых рассчитывались дисперсии.

Сравним эмпирическое и критическое значения критерия. Если эмпирическое значение больше критического, нулевая гипотеза отвергается. Следовательно, различия в дисперсии (т.е. в степени изменчивости) двух выборок статистически значимы (при заданном  $\alpha$ ).

Если дисперсии двух наборов данных при заданном уровне значимости статистически различны, это свидетельствует о большем разбросе значений исследуемой характеристики (например, уровня) в одном из них. Тогда нужно объяснить природу этого разброса и доказать предпочтение в использовании одного из этих наборов данных.

**6 шаг.** Рассчитывается средний по полю временной ряд для каждого набора данных, и для двух временных рядов оценивается коэффициент корреляции по формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)]}{N\sigma_1\sigma_2},$$

где  $x_{1i}$  и  $x_{2i}$  — соответствующие значения временного ряда первого и второго набора данных;  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$  — средние по полю и по времени значения первого и второго набора данных;  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  — стандартные отклонения в целом по полю

и по времени первого и второго набора данных соответственно;  $N$  — количество отсчетов по времени.

Считается, что для хорошего совпадения данных двух наборов переменных необходимо, чтобы коэффициент корреляции превышал 0,9. Если он меньше 0,7, то данные практически несопоставимы во временной изменчивости, а если  $0,7 < r < 0,9$  предпочтение какого-либо из наборов данных нуждается в дополнительной аргументации.

**7 шаг.** После того, как проведены статистические сравнительные оценки на предыдущих шагах, иногда проводят сравнение спектральной структуры временной или пространственной изменчивости исследуемой характеристики по разным наборам данных.

Для этого по временным рядам, полученным на 6 шаге, рассчитывают спектральную плотность и визуально оценивают, насколько совпадают периоды ярко выраженных колебаний. Хотя, если корреляция между рядами высока (5 шаг), то и спектральная структура будет схожа.

Для некоторых задач более адекватным является использование 7 шага вместо 6-го, т.к. позволяет уточнить «похожесть» данных на разных масштабах изменчивости. Для этих же целей можно выполнить вейлет-анализ.

### **Сравнение данных площадных альтиметрических наблюдений с точечными футшточными измерениями**

Для сравнения площадных наблюдений с точечными прежде всего из набора площадных наблюдений выбирают зону, ближайшую к пространственному расположению футштока. Для уровненных оценок на настоящий момент принято рассматривать зону в радиусе 100 км вокруг мареографов. В этой зоне из набора площадных наблюдений набирают временной ряд с той же дискретностью, что и футшточные наблюдения. Если дискретности сильно не совпадают, приводят ряды к единой дискретности, выбирая моменты времени, соответствующие данным, более редким во времени. Например, данные от спутника в этой точке имеются через 9,9 дней, а на футштоке измерения проводятся через 1 час, тогда из ряда футшточных наблюдений нужно выбрать данные на момент прохождения спутника.

Далее пара двух временных рядов сравнивается по указанной выше схеме из 6 шагов.

Дополнительно считается среднеквадратическая разность по формуле:

$$DH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(x_{1i} - x_{2i})^2]},$$

где  $x_{1i}$  и  $x_{2i}$  — значения данных спутника и мареографа соответственно в  $i$ -тый момент времени,  $N$  — количество временных отсчетов.

В AVISO считаются удовлетворительными критерии: корреляция между мареографными и альтиметрическими (в радиусе 100 км вокруг мареографов) наблюдениями должна быть  $>0,7$ ; среднеквадратическая разность между высотными оценками  $<10$  см.

### Примеры сравнительных оценок

#### *Средний глобальный уровень Мирового океана.*

На рис. 11 приводятся декадные значения уровня Мирового океана за период 1993–2008 гг. по данным AVISO и Колорадского Университета, сглаженные 60-дневным фильтром. Можно отметить хорошее соответствие между этими рядами, особенно после 1998 года. Линейные тренды уровня также хорошо согласуются, однако тренд по данным Колорадского Университета (3,2 мм/год) несколько выше, чем по данным AVISO (3,0 мм/год). Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) линейного тренда УМО составляет для обоих рядов примерно 90 %. Корреляция между указанными рядами составляет  $r = 0,993$ . Но после исключения тренда она заметно уменьшается ( $r = 0,73$ ).

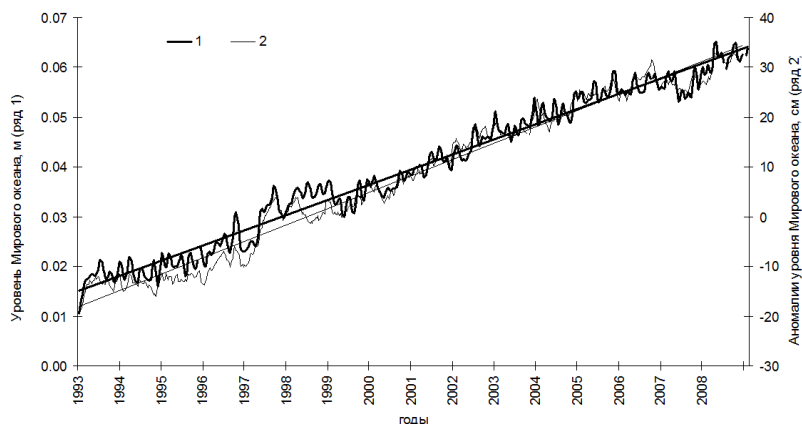


Рис. 11. Средний уровень Мирового океана по оценкам спутниковой альтиметрии за 1993–2008 гг.

1 — по данным AVISO; 2 — по данным Колорадского университета.

#### *Поля температуры поверхности воды в Юго-Восточной части Тихого океана.*

В качестве примера рассмотрим сравнение данных о ТПО четырех различных глобальных архивов: NOAA NCEP/NCAR CDAS, ERSST (COADS), NOAA NCEP CMB GLOBAL(RESM) и UKMO.

Для архивов NOAA NCEP/NCAR CDAS, ERSST (COADS) за период с 1949 по 1992 гг. для отдельных почти совпадающих квадратов сеточной области были рассчитаны средние многолетние значения ТПО (шаг 4), их

дисперсия (шаг 5) и коэффициент корреляции (шаг 6), так как значительного тренда в их рядах обнаружено не было. В табл. 4 представлены результаты сравнения этих двух наборов данных по соответствующим критериям.

*Таблица 4*

**Сравнение среднегодовых значений ТПО архивов NOAA NCEP/NCAR CDAS и COADS за период с 1949 по 1992 гг. для района ЮВТО**

Номер узла архива CDAS	Длина ряда в архиве COADS (в годах)	t-критерий	F-критерий	Коэффициент корреляции
30	43	7.5	6.4	0.53
43	28	9.3	55.5	0.08
60	39	14.8	30.3	0.38
74	37	19.0	32.2	0.20
92	41	21.9	30.4	0.50
37-38	27	0.6	128.1	0.20
68-69	32	1.7	71.7	-0.06
16	8	28.0	31.5	-0.15
46	24	3.6	204.0	0.11
78	25	7.9	51.7	-0.05

Из табл. 4 следует, что практически для всех квадратов сравниваемых архивов отмечаются огромные расхождения, как в средних значениях, так и особенно в оценках дисперсий. Причем для большинства квадратов отсутствует даже статистическая связь между ними. Причиной столь значительных расхождений является, прежде всего, занижение межгодовой дисперсии в системе CDAS, которое в некоторых случаях достигает двух порядков.

Ближкие к этим результаты были получены и при сравнении архива CDAS с архивом UK. Однако сравнение архивов CDAS и RESM показало, что между ними существует высокое соответствие. Действительно, корреляция средних годовых значений ТПО для этих архивов на всей акватории ЮВТО (рис. 12) находится в пределах  $r = 0,95-0,99$ .

При этом расхождения в оценках дисперсий ТПО по критерию Фишера являются незначимыми и только расхождения в выборочных средних по критерию Стьюдента оказываются значимыми на значительной части акватории ЮВТО. Это означает существование систематической ошибки в значениях ТПО и отчасти может быть вызвано несовпадением пространственных точек. Из пространственного распределения разности средних арифметических значений ТПО за период с 1982 по 2003 гг. рассматриваемых архивов (рис. 13) следует, что отмечается последовательное чередование зон положительных (значения ТПО архива RESM превышают данные ТПО

архива CDAS) и отрицательных (обратное соотношение в средних значениях ТПО указанных архивов) величин ошибок.

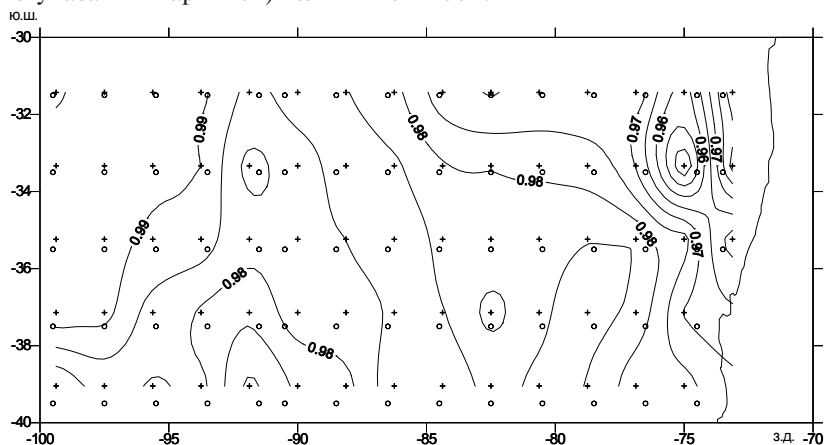


Рис. 12. Пространственное распределение коэффициентов корреляции для ТПО между архивами CDAS и Рейнольдса-Смита RESM (крестиками показана сетка CDAS, кружочками – соответствующая сетка RESM).

При этом максимальное завышение ТПО по архиву CDAS отмечается в восточной части ЮВТО вблизи Южной Америки, которое достигает  $1.6^{\circ}\text{C}$ , а максимальное занижение наблюдается на долготе  $78^{\circ}$  з.д. Однако его величина здесь в два раза ниже.

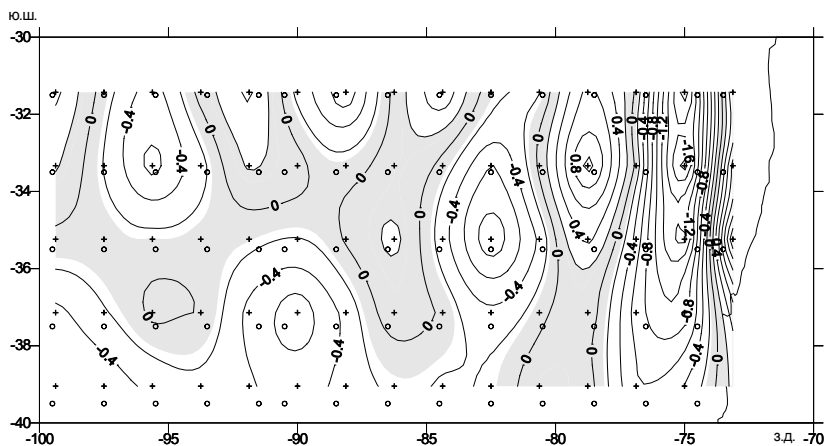


Рис. 13. Пространственное распределение систематических расхождений в среднемноголетних значениях ТПО за период с 1982 по 2003 гг. между архивами CDAS и RESM (крестиками показана сетка CDAS, кружочками – соответствующая сетка RESM; зоны незначимых расхождений показаны заливкой).

К сожалению, очень сложно определить какой из этих архивов содержит более точные оценки ТПО, ибо, как уже отмечалось, реперные данные для данного района отсутствуют. Поскольку при использовании статистических методов, в основе которых лежит метод наименьших квадратов, наличие систематических ошибок, вообще говоря, не имеет какого либо принципиального значения, то будем считать оба эти архивы равнозначными.

### **3.2. Другие задачи, решаемые статистическими методами**

*Совмещение разных архивов.*

Серьезный недостаток использования данных PSMSL состоит в том, что практически невозможно сделать это в реальном режиме времени, а только с весьма большим запаздыванием. Этому недостатка лишены архивы альтиметрической информации, находящиеся в свободном доступе в Интернете, получение данных из которых возможно почти в режиме онлайн.

Совмещение среднего уровня Мирового океана по альтиметрическим и береговым наблюдениям возможно двумя простыми способами.

- Первый – по совмещению средних значений двух рядов. Для этого рассчитана разность средних значений уровня за период 1993-2005 гг.

$$\bar{X}_{\text{фут}} - \bar{X}_{\text{альт}} = 261,1 - 3,1 = 258 \text{ мм.}$$

Далее вычисляем новый (приведенный к среднему) альтиметрический ряд УМО:

$$X_{\text{альт}}^{\text{с}} = 258 + X_{\text{альт}}.$$

На рис. 14 дается межгодовой ход вычисленного таким образом альтиметрического и футшточного рядов среднего уровня Мирового океана с 1993 г. Отметим, что при таком преобразовании тренд в значениях  $X_{\text{альт}}^{\text{с}}$  сохраняется. Максимальные расхождения между рядами отмечаются в 1997 и 1998 гг., когда они составляют около 20 мм. Средняя квадратическая разность равна 12,5 мм. Хотя локальные различия между рядами довольно существенные, основные тенденции в межгодовой изменчивости ряда  $X_{\text{альт}}^{\text{с}}$  соответствуют ряду  $X_{\text{фут}}$ .

- Второй способ заключается в построении модели регрессии между альтиметрическим и футшточным рядами УМО, т.е.

$$X_{\text{фут}}^{\text{р}} = b_0 + b_1 X_{\text{альт}} + \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  – остатки, имеющие нулевое среднее и постоянную дисперсию. Коэффициенты  $b_0$  и  $b_1$  находятся методом наименьших квадратов.

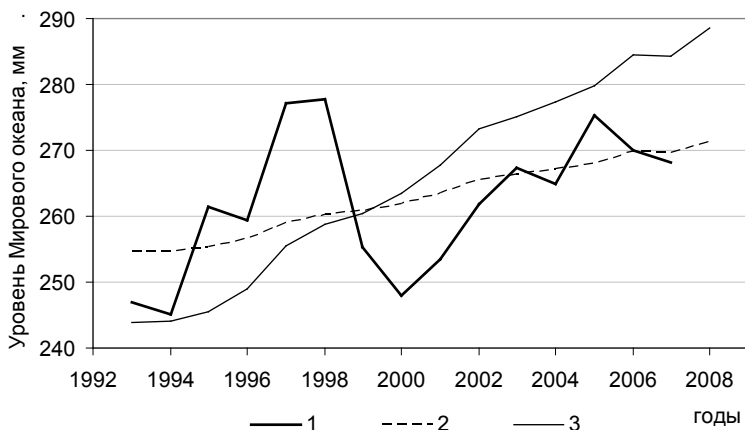


Рис. 14. Межгодовой ход среднего уровня Мирового океана, вычисленного по футшточным наблюдениям (1) и по двум вариантам альтиметрических данных: по регрессионной модели (2) и с приведением к среднему значению футшточных данных (3).

Коэффициент детерминации данной модели равен  $R^2 = 0,20$ , стандартная ошибка модели —  $\sigma_{y(x)} = 10,5$  мм, причем коэффициент  $b_1$  незначим по критерию Стьюдента. Из этих параметров видно, что регрессионная модель дает явно неудовлетворительные результаты. Тем не менее, вычисленный по данной модели ряд среднего уровня Мирового океана также приводится на рис. 14. Нетрудно видеть, что он по существу представляет собой тренд, свойственный футшточному ряду среднего уровня Мирового океана за период 1993–2005 гг. На наш взгляд, способ приведения к среднему значению футшточных данных можно рассматривать как основу для построения мониторинга среднего уровня Мирового океана по спутниковой информации.

*Сезонная и межгодовая изменчивость морского уровня по альтиметрическим данным.*

По данным об аномалиях уровня поверхности в каждой точке географической сетки  $0,3^\circ \times 0,3^\circ$  из базы данных AVISO были рассчитаны временные линейные тренды. На рис. 15 приводится их пространственное распределение. Нетрудно видеть, что отмечается значительный разброс в оценках и преобладает очаговый характер в их распределении. Особенно это характерно для Тихого океана, которому свойственна ярко выраженная оппозиция положительных значений тренда уровня на западе и отрицательных — на востоке. При этом максимальные положительные значения тренда достигают почти 10 мм/год. Максимальные пространственные градиенты трендов уровня отмечаются в южном полушарии, особенно в зоне действия

Антарктического циркумполярного течения. Обращают на себя внимание значительные отрицательные тренды в зоне Гольфстрима.

Основной причиной подобного распределения трендов в морском уровне судя по всему является изменчивость стерической компоненты уровня, обусловленной изменениями плотности морской воды за счет соответствующих изменений температуры и солёности.

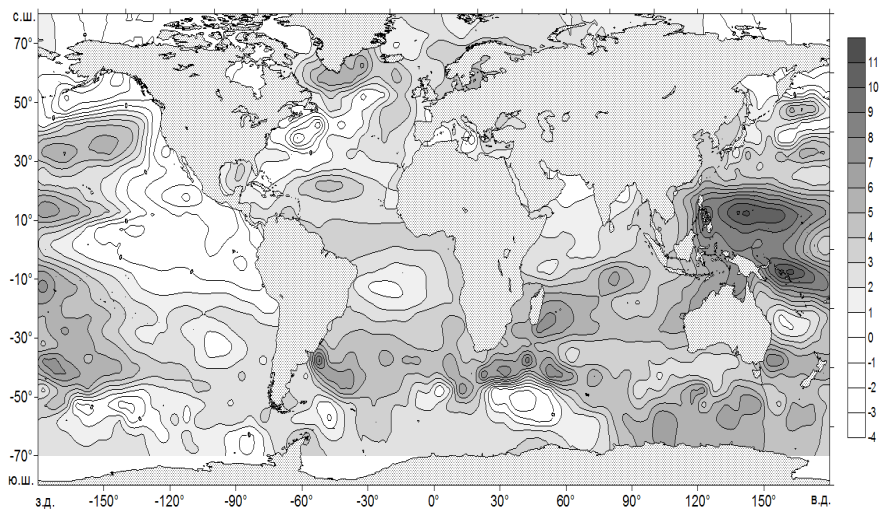


Рис. 15. Пространственное распределение трендов уровня океана за октябрь 1992 – декабрь 2008 гг., рассчитанных по альтиметрическим данным AVISO.

Для выявления меридиональных особенностей в распределении трендов, их значения, заданные в узлах  $0,3 \times 0,3$ -градусной сетки, были усреднены вначале для пятиградусных «квадратов» океана, а затем по 5-градусным широтным зонам отдельных океанов и Мирового океана в целом. Учитывая дипольный характер трендов в Тихом океане, осреднение проводилось отдельно для его восточной и западной частей. Границей послужил меридиан  $160^\circ$  з.д. Меридиональное распределение трендов приводится на рис. 16. Наиболее интересной является широтная зона  $40^\circ$ – $50^\circ$ . Если в южном полушарии здесь отмечаются максимальные тренды (более 4 мм/год), то в северном полушарии – минимальные тренды (менее 2 мм/год). Наибольшие отклонения от средних широтных значений трендов УМО наблюдаются в зоне  $20^\circ$  с.ш. –  $20^\circ$  ю.ш. Весьма важным представляется, что меридиональное распределение трендов в Атлантическом океане очень близко к меридиональной кривой трендов УМО.



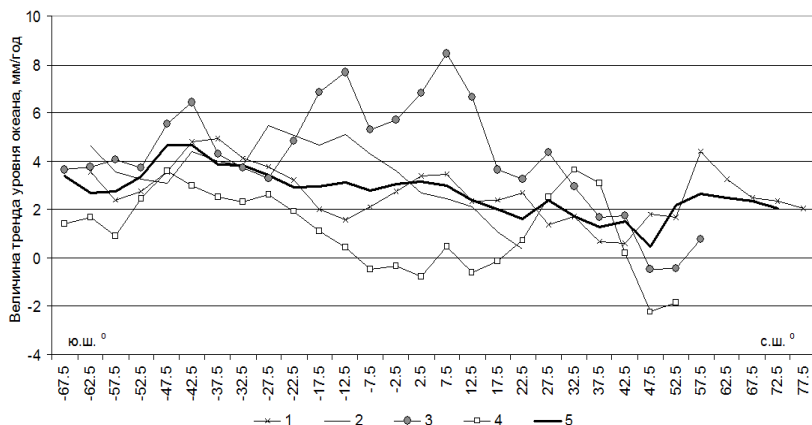


Рис. 16. Меридиональное распределение зонально-осредненных трендов уровня отдельных океанов (мм/год).

1 – Атлантический океан, 2 – Индийский океан, 3 – Западная Пацифика, 4 – Восточная Пацифика, 5 – Мировой океан.

Дополнительный интерес представляет оценка трендов для рядов уровня с внутригодовой изменчивостью. По среднемесячным альтиметрическим данным базы данных Колорадского Университета рассчитаны характеристики трендов для различных океанов, которые приведены в табл. 5. Коэффициент детерминации  $R^2$  означает долю дисперсии исходного ряда, которая описывается трендом. Как видно из таблицы, максимальная величина тренда отмечается в Индийском океане ( $Tr = 3,4$  мм/год), а минимальная – в Атлантическом океане ( $Tr = 3,1$  мм/год).

Таблица 5

Оценки линейного тренда уровня отдельных океанов и коэффициентов корреляции между ними за период 1993-2008 гг.

Океан	Параметры тренда		Коэффициенты корреляции		
	$R^2$	$Tr$ , мм/год	Атлантический	Индийский	Тихий
Атлантический	0,58	3,07	1	–0,36	0,17
Индийский	0,63	3,41	–0,36	1	–0,42
Тихий	0,81	3,22	0,17	–0,42	1
Мировой	0,91	3,16	0,68	–0,23	0,70

Максимальная корреляция среднего уровня Мирового океана наблюдается с уровнем Тихого океана ( $r = 0,70$ ), чуть меньше – с уровнем Атлантического океана ( $r = 0,68$ ). Однако с Индийским океаном корреляция

отрицательная ( $r = -0,23$ ). Впрочем, Индийскому океану свойственна противофазность в колебаниях уровня также и со всеми другими океанами. Причина этого достаточно очевидна и заключается в том, что Индийский океан расположен преимущественно в южном полушарии. Поэтому сезонная изменчивость его уровня находится в противофазе к сезонным колебаниям уровня в северном полушарии других океанов, что сказывается на оценках корреляции.

Рассмотрим теперь особенности временной изменчивости уровня океанов, отражающей одновременно сезонные и короткопериодные межгодовые колебания. В общем виде структуру сезонно-межгодовой изменчивости временного ряда  $\Phi(t)$  можно представить в виде следующего разложения:

$$\Phi(t) = Tr(t) + \sum_{j=1}^k A_j \cos(\omega_j t + \varphi_j) + P(t) = Tr(t) + C(t) + P(t),$$

где  $Tr(t)$  – трендовая составляющая;  $C(t)$  – циклическая компонента, характеризующая регулярные (циклические) сезонные и межгодовые колебания;  $P(t)$  – остаточная часть, характеризующая случайные колебания, которые можно отождествить с моделью «белого» шума;  $A_j, \omega_j, \varphi_j$  – параметры полигармонического ряда, характеризующего регулярные сезонные и межгодовые колебания;  $k$  – число гармоник.

При условии независимости отдельных слагаемых это выражение может быть представлено в дисперсионном виде:

$$D(\Phi) = D(Tr) + D(C) + D(P),$$

которое означает, что дисперсия исходного процесса равна сумме дисперсий отдельных составляющих структуры сезонно-межгодовой изменчивости.

Оценки вклада тренда в дисперсию исходного процесса ( $R^2$ ) уже приведены в табл. 5, поэтому ограничимся оценкой дисперсии двух других составляющих. После вычитания из исходного ряда трендовой компоненты, т.е.  $\Phi'(t) = \Phi(t) - Tr(t)$ , на основе классического гармонического анализа Фурье для стационарного ряда  $\Phi'(t)$  были выделены значимые по критерию Стьюдента гармоники, вклад которых в полную дисперсию уровня ( $D(\Phi)$ ) дается в табл. 6.

Как видно из табл. 6, если исключить преобладающий вклад тренда в дисперсию исходных процессов, то даже для годовой гармоникой доля дисперсии оказывается мала. Причем в Тихом океане она почти на порядок меньше, чем в Атлантическом океане. Это связано прежде всего с тем, что в северной и южной частях океана сезонный ход уровня, как правило, противоположен, что нивелирует годовую гармонику в среднем по океану.

Таблица 6

**Оценки вкладов отдельных составляющих структуры сезонно-межгодовой изменчивости в дисперсию временных рядов уровня океанов, в %**

Гармоники, период	Океан			
	Атлантический	Индийский	Тихий	Мировой
6 мес.	3	—	—	—
12 мес.	27	16	4	4
20 мес.	—	1,7	—	—
3 года	—	—	1,6	—
3,8 года	—	1,3	1,2	—
5 лет	—	1,3	—	—
7,5 лет	—	1,8	—	—
Сумма	30	22,1	6,8	4
Тренд	58	63	81	91
Белый шум	12	14,9	12,2	5

Остальные гармоники, с периодом больше одного года, хотя и являются значимыми, но вклад их в дисперсию настолько мал, что не имеет смысла их обсуждать. На долю случайных колебаний в уровне отдельных океанов приходится от 12 до 15 %, в УМО — 5 %. Итак, вклад в межгодовые колебания среднего уровня Мирового океана космогеофизических и геолого-геодинамических факторов в современных климатических условиях ничтожно мал, поэтому они почти полностью обусловлены соответствующими изменениями климата.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГЛОСС — глобальная система наблюдений над уровнем моря [электронный ресурс].— URL: [http://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/brochures/Russian\\_v2.pdf](http://www.psmsl.org/train_and_info/training/brochures/Russian_v2.pdf)
2. Гордеева С.М. Крупномасштабная изменчивость и долгосрочный прогноз температуры поверхности Юго-Восточной части Тихого океана: Дисс. ... канд. геогр. наук: 25.00.28-Океанология.— СПб., 2008.— 171 с.
3. Гордеева С.М. Практикум по дисциплине «Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации».— СПб: Изд. РГГМУ, 2010.
4. Зильберштейн О.И., Толкачев А.Я. Глобальная система наблюдений над уровнем моря (ГЛОСС) [электронный ресурс]// ФГБНУ НИИ РИНК-ЦЭ.— URL: [http://www.extech.msk.su/s\\_e/ocean/ioc/programs/gloss.php](http://www.extech.msk.su/s_e/ocean/ioc/programs/gloss.php)
5. Интегрированная база данных спутниковой альтиметрии [электронный ресурс] // Геофизический центр Российской Академии наук.— URL: <http://www.wdcb.ru/ALTIM/welcome.html>
6. Крупномасштабная изменчивость, моделирование и прогнозирование характеристик системы океан-атмосфера в современных климатических условиях: Отчет о НИР (1 этап): ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., гос. контракт № 14.740.11.0201/ РГГМУ, рук. Малинин В.Н. — СПб, 2010.
7. Altimetry history, principle, multi-satellites, future [электронный ресурс] // AVISO. URL: <http://www.aviso.oceanobs.com/en/altimetry/>
8. Bogdanov V.I., Medvedev M.Yu., Solodov V.A., Trapeznikov Yu.A., Troshkov G.A., Trubitsina A.A. Mean monthly series of sea level observations (1777-1993) at the Kronstadt gauge // Reports of the Finnish Geodetic Institute. 2000:1. — Kirkkonummi, 2000.
9. Chelton D.B., Ries J.C., Haines B.J., Fu L.L., Callahan P.S. Satellite Altimetry // Satellite altimetry and Earth sciences / Ed. L.L. Fu and A. Cazenave.— Academic Press, 2001.
10. International Association for the Physical Sciences of the Oceans [электронный ресурс] // IUGG.— URL:<http://www.iugg.org/associations/iapso.php>
11. PSMSL — Permanent Service for Mean Sea Level: Overview [электронный ресурс].— URL: [http://www.psmsl.org/about\\_us/overview/](http://www.psmsl.org/about_us/overview/)
12. Sea level Science and Geodetic Techniques [электронный ресурс] // GGOS of IAG.— URL: [http://www.psmsl.org/train\\_and\\_info/training/brochures/Sea%20Level%20Science%20and%20Geodetic%20Techniques\\_new\\_jpl.pdf](http://www.psmsl.org/train_and_info/training/brochures/Sea%20Level%20Science%20and%20Geodetic%20Techniques_new_jpl.pdf)