

На правах рукописи



Андреанов Геннадий Николаевич

551.46

**ДИАГНОЗ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕТОДАМИ
МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
(НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНО-ВОСТОЧНОЙ, ЮГО-ВОСТОЧНОЙ
АТЛАНТИКИ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА)**

Специальность 25.00.28 – Океанология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Калининград – 2005

Работа выполнена в Калининградском государственном университете

Научные руководители:

доктор физико-математических наук,
профессор

Гриценко Владимир Алексеевич

кандидат географических наук,
доцент

Чернышков Павел Петрович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Пака Вадим Тимофеевич

кандидат географических наук

Густов Дмитрий Владимирович

Ведущая организация:

Арктический и Антарктический научно - исследовательский институт (ААНИИ).

Защита состоится "15" июня 2005 г. в 14 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.084.02 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора географических наук при Калининградском государственном университете по адресу: 236040, Калининград, ул. Университетская, 2, ауд. 206

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Калининградского государственного университета

Автореферат разослан "13" мая 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук



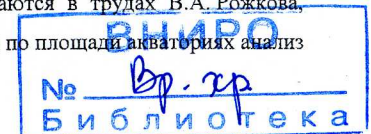
Г.М. Баринава

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одними из наиболее продуктивных районов Мирового океана являются районы проявления прибрежного апвеллинга, которые обеспечивают более 50% мировой добычи рыбы, к наиболее продуктивным из которых относятся Канарский (Центрально-Восточная Атлантика), Бенгельский (Юго-Восточная Атлантика) и Перуано-Чилийский (Юго-Восточная часть Тихого океана). Промышленно-океанологические исследования последних десятилетий показали, что численность и биомасса массовых пелагических рыб в районах апвеллинга не зависят от величины нерестового запаса и определяются уровнем пополнения, который формируется под влиянием условий среды обитания во время нереста, а также структуры и динамики вод в период, соответствующий ранним стадиям развития организмов (Промышленно-океанологические исследования АтлантНИРО, 2002).

В последнее время созданы международные базы данных о состоянии поверхности Земли и, в частности, поверхности океана. Появление спутниковых систем мониторинга океана позволяет существенно улучшить качество информационного обеспечения океанологических исследований. В первую очередь это улучшение базируется на оперативности получения данных, которые охватывают весь регион исследования практически в режиме «реального времени». Кроме оперативных данных о состоянии поверхности океана доступными являются и данные, полученные по различным численным моделям циркуляции системы океан-атмосфера на базе спутниковых и контактных измерений, например, NCEP/NCAR Reanalysis. Временное разрешение как оперативных, так и модельных данных колеблется в достаточно широких пределах от нескольких часов до нескольких месяцев. Эта информация может быть использована при решении различных задач по изучению океана: от исследования мезомасштабных процессов до изучения глобальной динамики.

Спутниковые и модельные данные можно представить как набор пространственных полей распределений гидрометеорологических характеристик в исследуемом районе. Чем выше пространственное и временное разрешение данных, тем больше элементов в каждом поле и тем больше полей присутствует в каждом наборе. Методы вероятностного и статистического анализа применяются в океанологических и гидрометеорологических исследованиях уже достаточно давно. Методология и результаты их использования описываются в трудах В.А. Рожкова, И.Н. Давидана, В.Н. Малинина и др. Однако на больших по площади акваториях анализ



данных с высоким пространственно-временным разрешением с помощью методов классической статистики становится все более трудоемким. Одним из эффективных способов анализа такой информации является применение методов многомерного статистического анализа (МСА) к исходным данным. Методы МСА позволяют существенно сжимать исходную информацию и выявлять в ней скрытые (латентные) закономерности. Эти свойства методов МСА позволяют провести комплексный диагноз гидрометеорологических процессов на исследуемых акваториях. Исходя из этих предпосылок, данная работа является весьма актуальной.

Цели и задачи работы. Основная цель работы – с помощью методов многомерного статистического анализа описать пространственно-временную изменчивость гидрометеорологических и океанологических процессов в Центрально-Восточной Атлантике (ЦВА), Юго-Восточной Атлантике (ЮВА) и Юго-Восточной части Тихого океана (ЮВТО).

Поставленная цель определила следующие задачи исследований:

1. Исследовать сезонную и межгодовую изменчивость гидрометеорологических условий в районах ЦВА, ЮВА и ЮВТО. Определить факторы, которые являются основными в изменчивости условий окружающей среды в районах исследования.
2. Описать сезонные и межгодовые изменения динамики вод по данным спутниковой альтиметрии.
3. Провести районирование акваторий ЦВА, ЮВА и ЮВТО по характеру сезонной и межгодовой изменчивости аномалий уровня океана.
4. Оценить зависимость результатов районирования от выбранного метода классификации.

Материалы и методы исследования. В работе использованы данные двух массивов гидрометеорологической информации, включающие в себя поля давления и температуры поверхности океана из массива NCEP/NCAR Reanalysis и спутниковые наблюдения за уровнем океана (программа Topex/Poseidon).

Анализ полей метеорологических и океанологических характеристик проведен с помощью методов главных компонент и кластерного анализа. Для выделения преобладающих периодичностей применялся спектральный анализ.

Научная новизна и теоретическая значимость.

1. Впервые для диагноза океанологических условий применены итеративные методы кластерного анализа Форель и взаимных поглощений (Айвазян и др., 1989). Данные методы на выходе сами получают конечное число классов, основываясь на внутренних закономерностях исходных данных. Для их использования создан специализированный пакет прикладных программ.
2. Получена физическая интерпретация нескольких первых главных компонент разложений полей давления, температуры поверхности океана, соответствующих аномалий и аномалий уровня океана. Эта интерпретация основывается на анализе пространственного распределения нагрузок самих компонент.
3. Исследована зависимость результатов разложения на главные компоненты полей аномалий давления и аномалий температуры поверхности океана от временных границ анализируемых данных.
4. Для выбора окончательного числа классов применены критерии качества классификации, которые помогают выбрать наиболее оптимальное разбиение на кластеры.

Положения, выносимые на защиту:

- Закономерности межгодовой и сезонной изменчивости температуры поверхности океана, атмосферного давления, соответствующих аномалий и аномалий уровня океана в ЦВА, ЮВА и ЮВТО;
- Методика физической интерпретации нескольких первых главных компонент разложений полей гидрометеорологических характеристик;
- Особенности межгодовой и сезонной изменчивости уровня океана в ЦВА, ЮВА и ЮВТО по данным спутниковой альтиметрии;
- Районирование исследуемых акваторий по характеру сезонной и межгодовой изменчивости аномалий уровня океана.

Практическая значимость работы. Практическая ценность работы состоит в создании методики диагноза океанологических условий с использованием методов многомерного статистического анализа. Данная методика позволяет проводить широкомасштабные исследования изменчивости условий среды, используя различные

виды данных с различным пространственно-временным разрешением. При этом анализ не требует больших вычислительных затрат.

Результаты проведенного исследования уровня океана по данным спутниковой альтиметрии могут быть использованы как методическая основа для мониторинга динамических процессов, происходящих в исследуемых районах.

Для проведения классификаций многомерных данных с помощью методов Форель и взаимных поглощений с использованием различных видов расстояния между объектами классификации был разработан пакет прикладных программ (ППП), в возможности которого входит и расчет нескольких критериев качества для выбора оптимального количества классов, оставляемых для дальнейшего анализа.

Результаты работы могут быть использованы при разработке математических моделей взаимодействия океана и атмосферы.

Апробация работы. Отдельные части работы, а также диссертация в целом докладывались и обсуждались на коллоквиумах лаборатории промышленной океанологии и отчетных сессиях АтлантНИРО, а также на Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 140-летию со дня рождения Н.М. Книповича (Мурманск, 2002); на XII Международной конференции «Потоки и структуры в жидкостях» (Санкт-Петербург, 2003); на VIII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» (Москва, 2003); на IV Всероссийской научной конференции «Физические проблемы экологии (Экологическая физика)» (Москва, 2004).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка используемой литературы и приложения. Текст работы изложен на 145 страницах, содержит 10 таблиц и 69 рисунков. В списке литературы приведены 128 наименований, из которых 70 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность и благодарность за помощь и постоянное внимание к работе своим научным руководителям докт. физ.-мат. наук, профессору В.А. Гриценко, канд. геогр. наук, доценту П.П. Чернышкову; докт. геогр. наук, профессору В.Н. Яковлеву, канд. геогр. наук А.М. Сироте, заведующему лабораторией промышленной океанологии АтлантНИРО И.А. Полищуку и сотрудникам этой лаборатории. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №03-05-65136 и программы ИНТАС, проект 01/460.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются цели, задачи исследования и выводы, выносимые на защиту.

В первой главе на основе литературных данных представлена гидрометеорологическая характеристика районов ЦВА, ЮВА и ЮВТО.

В первом разделе рассматриваются четыре климатические зоны, в пределах которых расположен район ЦВА, преобладающая атмосферная циркуляция, поверхностная циркуляция вод и районы проявления прибрежного апвеллинга. Участок между 33 - 36° с.ш. находится в субтропической климатической зоне, где в зимний период преобладают воздушные массы умеренных широт и ветры переменных направлений. Зимой сюда проникают внетропические циклоны. Между 15 - 33° с.ш. преобладают тропические воздушные массы, выносимые с материка северо-восточным пассатом. Между 6 - 15° с.ш. расположена субэкваториальная климатическая зона, или область экваториально-тропических муссонов. Здесь летом преобладают экваториальные, зимой – тропические воздушные массы. Отмечается сезонная смена направления ветра: летом – от экватора, зимой – к экватору, причем скорость ветра к зиме возрастает. Остальная часть ЦВА находится в экваториальной климатической зоне. В течение года здесь преобладают экваториальные теплые и влажные воздушные массы. Сезонные колебания температуры и влажности воздуха очень малы и меньше суточных.

Основным циркуляционным процессом является образование морских тропических воздушных масс в антициклонах Северного (Азорский) и Южного полушарий. Центр Азорского антициклона располагается на 27 - 34° с.ш. Постоянное перемещение тропических воздушных масс к экваториальной ложбине порождает системы постоянных северо-восточных пассатов в Северном полушарии. Наиболее устойчивым пассатный перенос становится на участке 15 - 30° с.ш., где повторяемость его по направлению может превышать 90%.

Движение прибрежных поверхностных вод вдоль атлантического побережья Западной Африки происходит в системах антициклонических субтропических круговоротов Северной и Южной Атлантики. Пассатные течения, переносящие значительный объем воды в западном направлении, являются доминирующей компонентой циркуляции вод исследуемого района. Таким течением в районе ЦВА является Северное Пассатное течение. Кроме него существенную роль в циркуляции

вод играют также Канарское, Гвинейское течения и Межпассатное (Экваториальное) противотечение.

Одним из важнейших океанографических факторов, которые формируют гидрологический режим и структуру вод у побережья Северо-Западной Африки, является прибрежный апвеллинг. В разделе описаны механизм возникновения апвеллинга, особенности пространственного распределения и структура зон подъема вод.

Во втором разделе рассматриваются три климатические зоны, в пределах которых расположен район ЮВА, преобладающая атмосферная циркуляция, основные поверхностные течения и районы проявления прибрежного апвеллинга. Участок 5 - 15° ю.ш. находится в субэкваториальной климатической зоне, где зимой при смещении экваториальной депрессии к экватору преобладают тропические воздушные массы. Летом здесь преобладает тип циркуляции, характерный для тропической воздушной массы. Район 15 - 33° ю.ш. расположен в тропической зоне, где преобладает пассатный тип атмосферной циркуляции. Повторяемость доминирующего здесь юго-восточного пассата превышает 80%. Район к югу от 33° ю.ш. располагается в субтропической зоне, которая находится под влиянием, с одной стороны, субтропического максимума высокого давления, с другой стороны, циклонов умеренных широт, выходящих в тыл смещающихся в район Индийского океана антициклонов.

Основными элементами, определяющими тип атмосферной циркуляции в данном районе, являются Южно-Атлантический антициклон и область экваториальной депрессии. Наибольший градиент давления между этими элементами расположен на границе раздела океан-материк. Именно он и вызывает преобладающие здесь юго-восточные пассаты. В разделе описывается также достаточно сложный характер его пространственно-временной изменчивости.

Движение прибрежных поверхностных вод вдоль атлантического побережья Южной Африки происходит в системе антициклонического субтропического круговорота Южной Атлантики. Основными поверхностными течениями в данном районе являются Бенгельское и Ангольское. При этом система Бенгельского течения включает в себя разбросанные восточные вихри субтропического круговорота и ряд ветвей. С севера и юга Бенгельское течение ограничено теплыми водами – Ангольским течением и течением Агульяс соответственно.

Южные ветры, юго-восточные пассаты и Бенгельское течение обуславливают чрезвычайно сильный апвеллинг вдоль юго-западного африканского побережья. Кроме

ячеек прибрежного апвеллинга в данном районе существует и область океанического апвеллинга, так называемый "ангольский купол", активизирующийся в зимне-весенний период. В разделе показано положение восьми основных ячеек прибрежного апвеллинга.

В третьем разделе рассматриваются три климатические зоны, в которых расположен район ЮВТО, преобладающая там атмосферная циркуляция, основные поверхностные течения и районы проявления прибрежного апвеллинга. Район от экватора до 20° ю.ш. находится в тропической климатической зоне, где все природные процессы тесно взаимосвязаны. В данном районе практически всегда дует юго-восточный пассат средней силы. От 20 до 30° ю.ш. прибрежный район расположен в субтропической зоне. В океанической части границы района располагаются между 30 и 40° ю.ш., что связано с циркуляцией поверхностных вод и атмосферы. От 35 до 60° район располагается в умеренной зоне, где преобладают западные, северо- и юго-западные ветры.

Главными факторами, влияющими на атмосферную циркуляцию в ЮВТО, являются стационарные центры действия атмосферы над самим океаном и прилегающей к нему Южной Америкой. Большая часть района находится под влиянием стационарного субтропического антициклона Южного полушария, который летом усиливается, а зимой ослабевает. В северной прибрежной части района юго-восточный пассат является преобладающим, тогда как над океаном скорости и устойчивость ветров меняются в широких пределах.

В южной части Тихого океана преобладает антициклонический круговорот, элементами которого в рассматриваемом районе являются Южное Пассатное (Экваториальное) течение, северная часть Южно-Тихоокеанского течения и Перуано-Чилийское течение.

Перуано-Чилийская апвеллинговая система располагается вдоль побережья Южной Америки от 40° ю.ш. до экватора. У берегов Перу интенсивность апвеллинга сильнее, чем в южной части района. Подъем происходит под влиянием преобладающих юго-восточных ветров и поперечной составляющей в Перуано-Чилийском течении. Скорость подъема вод зависит от силы ветра и течений, очертаний береговой линии, ее простираения относительно направления ветра и течения, от распределения глубин и может достигать нескольких метров в сутки.

Во второй главе представлено теоретическое описание методов кластерного анализа и главных компонент, а по литературным данным приведены основные

способы анализа гидрометеорологической информации с использованием этих методов МСА.

В первом разделе дается определение и описывается сущность задач классификации. Приводится нестрогая постановка таких задач.

Во втором разделе рассматриваются расстояния между отдельными объектами и меры близости этих объектов друг к другу. Приводятся строгие определения расстояния и меры близости, а также указывается один из возможных способов вычисления одного через другое. Рассматриваются основные метрики, используемые в задачах классификации, среди которых: Евклидово расстояние, расстояние Сити-блок (city-block), расстояние Пирсона.

В третьем разделе приводится одна из возможных классификаций методов кластерного анализа. В данной работе используются методы из эвристической и иерархической групп, которые считаются наиболее приемлемыми для использования в гидрометеорологических исследованиях.

В четвертом разделе ставится задача оценки качества полученной классификации и предлагается ее решение с помощью функционалов качества. Приводятся формулы для вычисления трех функционалов, использующихся в данном исследовании: сумма квадратов расстояний до центров классов, сумма внутриклассовых расстояний между объектами и суммарная внутриклассовая дисперсия.

В пятом разделе подробно описываются методы кластерного анализа, используемые в данной работе: метод k -средних, метод Уорда (Ward's), метод Форель и алгоритм взаимных поглощений.

В шестом разделе описывается метод главных компонент. Приведены основные формулы для представления исходных данных через компоненты и их нагрузки.

В седьмом разделе приведены статистические свойства главных компонент, которые делают их привлекательными для использования в анализе гидрометеорологической информации. К ним относятся свойства наилучшей самовоспроизводимости и наименьшего искажения геометрической структуры исходных данных при их проектировании в пространство меньшей размерности (Айвазян и др., 1989). Еще одним важным свойством является однозначность вычисления компонент, что облегчает их физическую интерпретацию.

В восьмом разделе по литературным источникам дается краткий обзор использования методов МСА в гидрометеорологических исследованиях.

В третьей главе приводится статистическое описание используемых для анализа данных.

В первом разделе приведены источники и пространственно-временные границы используемых данных. Исследуемые районы были заключены в следующих пространственных границах: ЦВА – 5-45° з.д., 0-45° с.ш.; ЮВА – 30° з.д.-20° в.д., 5-40° ю.ш.; ЮВТО – 70-105° з.д., 5-50° ю.ш. В работе использованы следующие данные: 1) среднемесячные значения температуры поверхности океана (ТПО) с пространственным разрешением 1,875° по долготе и широте с 1971 по 2002 г., полученные из массива NCEP/NCAR; 2) среднемесячные поля приземного атмосферного давления на уровне моря с пространственным разрешением 2,5°×2,5° за тот же самый временной период, полученные из того же самого массива; 3) среднемесячные аномалии уровня океана (АУО) в узлах одноградусной сетки с мая 1992 г. по декабрь 2002 г., полученные из массива NASA GSFC.

Во втором разделе описываются статистические свойства используемых данных. Для каждого вида данных посчитаны среднегодовые значения и стандартное отклонение. Построены соответствующие карты, из которых видно, что наибольшее изменение исследуемых характеристик происходит в районах с наибольшей динамической активностью.

В третьем разделе проведены оценки первичных статистик (медиана, мода, асимметрия, эксцесс) используемых данных, усредненных по пространству и времени. Оценена степень соответствия осредненных данных нормальному закону распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка.

В четвертом разделе рассматриваются аномалии анализируемых гидрометеорологических характеристик, полученные из исходных данных путем вычитания среднемесячных норм за рассматриваемые периоды. Для них вычислены те же статистики, что и в предыдущем разделе. Проведена оценка значимости линейных трендов для пространственных средних по t -критерию Стьюдента. В среднем значении давления и аномалий давления значимые линейные тренды отсутствуют во всех районах. Положительный линейный тренд ТПО наблюдается в ЦВА, для аномалий ТПО и аномалий уровня океана в ЦВА и ЮВА. С помощью анализа графиков спектральной плотности выявлены преобладающие периодичности в исходных данных. В давлении, ТПО и аномалиях уровня океана преобладает годовая и полугодовая цикличность.

В четвертой главе рассмотрены результаты разложения полей ТПО, атмосферного давления, соответствующих аномалий и АУО на главные компоненты, а также устойчивость разложений аномалий давления и аномалий ТПО. Разложения проводились с помощью Q -техники (Окунь, 1974). Для всех разложений приведены пространственное распределение нагрузок и графики значений первых четырех компонент, а также проведена физическая интерпретация этих компонент, исходя из анализируемых данных. С помощью спектрального анализа выявлены преобладающие периодичности в значениях компонент. Для значений первых компонент оценена значимость линейного тренда.

В первом разделе рассматривается разложение поля давления и аномалий давления в ЦВА. Первая компонента давления описывает изменчивость среднего давления в районе; вторая – изменчивость зональной составляющей атмосферного переноса в районе Мавритании, третья – в районе Марокко. Из результатов разложения следует также отметить понижение средней аномалии давления южнее 30° с.ш. в годы возникновения и развития Эль-Ниньо в ЮВТО. Данное понижение в межгодовом плане наблюдается для всех событий Эль-Ниньо за рассматриваемый период.

Во втором разделе обсуждаются результаты разложения на главные компоненты полей ТПО и аномалий ТПО в ЦВА. Значения главных компонент поля аномалий ТПО показывают достаточно сложный характер межгодовой изменчивости данного поля на исследуемой акватории. При этом межгодовые изменения компонент данного поля значительно превосходят внутригодовые.

В третьем разделе рассматриваются результаты разложения полей давления и аномалий давления в ЮВА. Первая компонента давления описывает изменчивость среднего атмосферного давления, в котором преобладает годовая периодичность. Вторая компонента описывает изменчивость зональной составляющей атмосферного переноса.

В четвертом разделе обсуждаются разложения полей ТПО и аномалий ТПО в ЮВА на главные компоненты. В межгодовом плане компоненты аномалий ТПО изменяются в достаточно широких пределах, а внутригодовая изменчивость компонент несколько больше таковой в ЦВА.

В пятом разделе рассмотрены разложения на главные компоненты полей давления и аномалий давления в ЮВТО. В изменчивости среднего поля давления преобладает годовая цикличность, при этом наблюдается понижение среднего давления в годы Эль-Ниньо. Это согласуется с пониженными аномалиями давления,

изменчивость которых описывает первая компонента поля аномалий давления. В эти периоды наблюдений отмечено ослабление зональной составляющей атмосферного переноса, изменчивость которой описывает вторая компонента поля аномалий давления. При этом ее ослабление происходит почти одновременно с повышением аномалий ТПО в данном районе. Это свидетельствует о том, что ослабление юго-восточного пассата не является причиной возникновения Эль-Ниньо.

В шестом разделе обсуждаются результаты разложения полей ТПО и аномалий ТПО в ЮВТО на главные компоненты. В изменчивости компонент аномалий ТПО амплитуда межгодовых колебаний значительно больше амплитуды внутригодовых изменений. При этом в значениях компонент проявляются все события Эль-Ниньо в виде локальных экстремумов.

В седьмом разделе приводятся результаты разложения полей АУО в районах исследования на главные компоненты.

В районе ЦВА по нагрузкам главных компонент выделяются три основных района: район распространения Азорского, Канарского и Южного Пассатного течения (первая компонента); район Северного Пассатного течения (вторая компонента) и район Гвинейского течения (третья компонента). В первом подрайоне максимальные АУО в течение года наблюдаются осенью, минимальные – весной. Во втором подрайоне наибольшие аномалии отмечаются летом и зимой, наименьшие – весной и осенью. Наибольшие АУО в районе распространения Гвинейского течения отмечаются зимой, наименьшие – летом. Кроме этого, в конце зимы наблюдается еще один локальный минимум, а в конце весны – еще один локальный максимум.

В ЮВА первая компонента описывает изменчивость средней АУО в районе. Максимальные АУО наблюдаются осенью Южного полушария (март-май), минимальные – весной Южного полушария (август-сентябрь). Вторая компонента описывает изменчивость АУО в районе распространения Южного Пассатного течения. В значениях этой компоненты кроме годовой и полугодовой периодичностей обнаружена также квазидвухлетняя цикличность. Наименьшие АУО в районе распространения Южного Пассатного течения наблюдаются летом Южного полушария (ноябрь-январь), наименьшие – зимой Южного полушария (май-июль). Третья компонента описывает изменчивость АУО в океанической части распространения Южно-Атлантического течения (южнее 35° ю.ш. и западнее 15° з.д.). Наибольшие АУО в течение года в данном подрайоне наблюдаются зимой Южного полушария (май-июнь), наименьшие – летом Южного полушария (октябрь-ноябрь). Следует отметить

резкое понижение АУО в данном подрайоне в 1997 г. После него АУО повысились до среднесуточных значений только к 2000 г.

В ЮВТО первая компонента также описывает изменчивость средней АУО в районе. Минимальных значений она достигает в октябре-декабре, максимальных – в апреле-мае. Следует отметить резкое повышение средней АУО в 1997-1998 г. Нагрузки второй компоненты достигают значений больших 0,6 по модулю на самом севере района и в районе распространения Южно-Тихоокеанского течения. Наибольшие значения компоненты наблюдаются осенью Южного полушария, наименьшие – весной Южного полушария. Понижение значений компоненты в течение 1997-1998 годов свидетельствует о повышении АУО на севере рассматриваемой акватории и об их понижении в районе распространения Южно-Тихоокеанского течения. Нагрузки третьей компоненты достигают значений больше 0,6 по модулю только на юге рассматриваемой акватории в районе распространения северной ветви Антарктического Циркумполярного течения. Спектральный анализ выявил достаточно обширный ансамбль периодичностей, присутствующих в значениях компоненты. По убыванию значений спектральной плотности это 16-месячная, годовая, полугодовая и 4-месячная цикличность. Следует также отметить долгопериодное повышение АУО в данном подрайоне.

Восьмой раздел посвящен описанию устойчивости разложения полей аномалий давления и аномалий ТПО на главные компоненты. Исследование устойчивости проведено с помощью так называемых «скользящих разложений» с меняющимися временными пределами. Ширина скользящего временного окна была выбрана равной 132-м месяцам, чтобы как можно больше значений нагрузок главных компонент оказались статистически значимыми. Таким образом, для каждого вида данных было проведено по 253 разложения на ГК. После этого нагрузки первых четырех компонент для каждого разложения классифицировались с помощью метода Уорда с Евклидовым расстоянием в качестве меры близости между объектами классификации. Количество оставляемых классов определялось с помощью дендрограммы.

Анализ распределений среднеклассовых нагрузок показал, что для аномалий давления характер распределения нагрузок в классах практически не меняется, а основные незначительные изменения происходят в величинах нагрузок. Это означает, что физический смысл первых четырех ГК разложения поля аномалий давления не меняется с течением времени. Данный факт позволяет использовать ГК для прогнозирования как аномалий давления по всему району, так и отдельных

составляющих изменчивости данного поля. Для аномалий ТПО распределение нагрузок меняется достаточно сильно по характеру и величине самих нагрузок, что свидетельствует об изменении физической интерпретации компонент разложения поля аномалий ТПО во времени. Зачастую эти изменения происходят в годы возникновения и развития события Эль-Ниньо в ЮВТО. Это следует учитывать при долгосрочном прогнозировании отдельных составляющих изменчивости поля аномалий ТПО.

В девятом разделе приведены обобщения результатов первых восьми разделов.

В разложениях полей давления, ТПО, соответствующих аномалий и АУО были выявлены следующие особенности:

- 1) Несколько первых компонент допускают достаточно четкую физическую интерпретацию, основанную на анализируемых данных.
- 2) Нагрузки первой ГК, как правило, имеют одинаковый знак во всем районе исследования. Сама ГК описывает изменчивость среднего значения исследуемого параметра, рассчитанного по всему исследуемому району или по большей его части, в которой нагрузки компоненты наибольшие по абсолютной величине. В значениях компонент разложений полей давления, ТПО и АУО сохраняются преобладающие в них годовые и полугодовые периодичности.
- 3) В значениях первой ГК сохраняется значимость линейного тренда, который присутствовал и был значимым в среднем значении исследуемого параметра, рассчитанном по всему району.
- 4) Компоненты, начиная со второй, делят район (нулевой изолинией нагрузки) на два и более подрайонов. Эти компоненты, как правило, описывают изменчивость градиентов исследуемых характеристик между соседними подрайонами. Градиенты при этом вычисляются между точками (из соседних подрайонов) с максимальными по модулю нагрузками. При таком способе расчета градиента степень линейной связи (модуль коэффициента корреляции) между ним и компонентой оказывается выше, чем модуль максимальной нагрузки соответствующей компоненты.
- 5) Вторая компонента полей давления описывает изменчивость интенсивности зональной составляющей атмосферных переносов в районах исследования. Для аномалий давления она описывает соответственно изменчивость аномалий зональной составляющей.
- 6) По критерию Кэттела в дальнейшем анализе, как правило, можно оставить первые три – четыре компоненты.

- 7) Степень сходимости выше для разложений ТПО, чем для давления, что обусловлено большей консервативностью поля ТПО. Сходимость разложений АУО оказалась самой низкой, что обусловлено большим количеством точек сетки и сложностью корреляционной зависимости АУО от пространственных координат и времени.
- 8) Физическая интерпретация компонент аномалий давления не меняется со временем, а интерпретация компонент аномалий ТПО зависит от временных границ периода разложения.

Пятая глава посвящена результатам пространственной классификации аномалий уровня океана в исследуемых районах. В качестве методов классификации использовались методы Форель, взаимных поглощений, Уорда и *k*-средних. В качестве расстояния между объектами классификации использовались Евклидово расстояние, расстояние Сити-блок и расстояние Пирсона (*l-r*). Для выбора оптимальных классификаций, полученных с помощью методов Форель и взаимных поглощений, использовались критерии качества классификации.

В первом разделе рассматриваются результаты районирования ЦВА по изменчивости АУО. Во всех оставленных для рассмотрения классификациях присутствуют три подрайона: район влияния ветвей течений Гольфстрим и Азорского течения (35-45° з.д., 35-45° с.ш.), район распространения Северного Пассатного течения (25-45° з.д., 5-18° с.ш.) и район Гвинейского залива (5-18° з.д., 0-5° с.ш.). В результатах некоторых классификаций районы распространения Северного Пассатного и Гвинейского течений по изменчивости АУО относятся к одному и тому же классу. Однако при увеличении числа классов эти подрайоны относятся к различным кластерам. Характер временной изменчивости их среднеклассовых АУО также различен. В районе распространения Северного Пассатного течения максимальные АУО наблюдаются в мае-июне, а минимальные ранней весной и осенью. Данные периоды соответствуют временам его максимального усиления в летний период и ослабления весной и осенью, которые были получены по результатам дрейфа судов. В среднеклассовых значениях АУО для Гвинейского подрайона полугодовая периодичность преобладает над годовой, при этом наибольшие АУО в течение года наблюдаются в октябре-ноябре, а наименьшие – в июле-августе. Это совпадает с периодами ослабления Гвинейского течения зимой и усилением летом и осенью, которые были выявлены по результатам натуральных и численных экспериментов различными авторами. Метод Уорда и *k*-средних выделяют также экваториальный

океанический подрайон (22-45° з.д., 0-5° с.ш.). По изменчивости разности среднеклассовых АУО между ним и подрайоном распространения Северного Пассатного течения прослеживается сезонная изменчивость Межпассатного противотечения. Максимальных значений эта разность достигает в сентябре-октябре, а минимальных – в мае. Это совпадает с периодами его возникновения в мае-июне и наибольшего усиления осенью, которые были выявлены различными авторами на основе анализа дрейфа судов и траекторий дрейфтеров.

Во втором разделе рассматриваются результаты кластеризации ЮВА по изменчивости АУО. Метод взаимных поглощений и метод Форель выделяют отдельно только юго-восточный подрайон распространения возвратной ветви течения Агульяс и образуемых ею вихрей (4-20° в.д., 35-40° ю.ш.). В этом подрайоне сосредоточены почти все классы, выделенные с помощью этих методов. Методы Уорда и *k*-средних разбивают район на более однородные по размеру классы. Среди них выделяется прибрежный подрайон распространения Ангольского течения с севера и Бенгельского с юга. В 1997 г. в районе распространения Ангольского течения наблюдалось самое сильное за рассматриваемый период понижение АУО, которое достигало -8 см при среднем минимуме -2 см. В это же время в ЮВТО наблюдалось одно из самых сильных по интенсивности явлений Эль-Ниньо. Район распространения Южного Пассатного течения для некоторых классификаций выделяется в один отдельный класс, а для других разбивается на несколько более мелких по размеру подклассов. Южнее 30° ю.ш. расположено больше классов, чем на севере, и они более мелкие по размеру. Это связано с преобладающим на данной акватории Южно-Атлантическим течением с высокой вихревой активностью на северной периферии и субтропическим фронтом. Подрайон распространения возвратной ветви и вихрей течения Агульяс методами Уорда и *k*-средних также выделяется как совокупность нескольких классов малого размера.

В третьем разделе рассматриваются результаты районирования ЮВТО по изменчивости АУО. Все четыре алгоритма классификации дают весьма похожие друг на друга классификации. Были выделены несколько основных подрайонов: северный подрайон (от побережья до 105° з.д., 5-10° ю.ш.), прибрежный подрайон распространения Перуано-Чилийского течения, район Южного Пассатного течения, район Южно-Тихоокеанского течения и подрайон распространения северной ветви Антарктического Циркумполярного течения. Севернее 40° ю.ш. границы классов

вытянуты с юго-востока на северо-запад, что обусловлено преобладающими здесь пассатами.

В изменчивости Южно-Тихоокеанского течения преобладает годовая изменчивость и менее выражена полугодовая. Наибольшие среднеклассовые АУО в течение года наблюдаются в марте-апреле, наименьшие – в октябре-ноябре. При понижении АУО отмечается ослабление потока на восток.

В изменчивости АУО в районе распространения Южного Пассатного течения также преобладает годовая изменчивость. Максимальные АУО наблюдаются зимой (с июля по сентябрь), а минимальные – весной и летом (с ноября по февраль). Наибольшие скорости течения при этом между 10 и 20° ю.ш. наблюдаются весной, а наименьшие – летом. Следует отметить высокие АУО, которые были зафиксированы зимой 1997 г. (выше 5 см) и летом 1998 г. (выше 8 см) годов, тогда как в среднем они не превосходят 3 см в зимний период.

В изменчивости АУО в районе Перуано-Чилийского течения преобладает полугодовая периодичность. Максимальные аномалии уровня в течение года в данном районе наблюдаются осенью и весной, а минимальные – зимой и летом. Максимальная скорость течения в данном районе наблюдается весной, минимальная – осенью.

Анализ разности среднеклассовых АУО между экваториальным подрайоном и соседним с ним южным (7-12° ю.ш.) показывает значительное превышение АУО (до 15 см) в экваториальном подрайоне в годы возникновения и развития Эль-Ниньо. Такое превышение уровня свидетельствует о возникновении и распространении в восточном направлении мощного течения, которое переносит большие массы аномально теплых поверхностных вод в направлении Перуано-Чилийского побережья.

В четвертом разделе приводится обобщение результатов районирования исследуемых акваторий по изменчивости АУО.

Использование в качестве критерия качества суммы квадратов расстояний до центров классов не позволяет выделить какие-либо разбиения методами Форель и взаимных поглощений для всех трех районов исследования. При использовании суммы внутриклассовых расстояний между объектами классификации в качестве критерия качества, оптимальные разбиения можно выделить для алгоритма взаимных поглощений с Евклидовым и Сити-блок расстояниями. Оптимальные разбиения для расстояния Пирсона выделяются только для алгоритма Форель при расчете суммарной внутриклассовой дисперсии.

Алгоритмы Форель и взаимных поглощений в ЦВА и ЮВА имеют тенденцию выделять в отдельные классы небольшого размера подрайоны с наибольшей динамической активностью. Это свидетельствует о том, что в ЦВА и ЮВА данные располагаются в многомерном пространстве достаточно компактной группой. Методы Уорда и k -средних в этих районах дают более равномерное распределение точек по классам, при этом районы с высокой динамической активностью также выделяются в качестве отдельных классов. В районе ЮВТО все четыре метода классификации дают похожие друг на друга классификации. Это означает, что данные в ЮВТО в многомерном пространстве расположены в виде нескольких отдельных сгустков.

Алгоритмы Форель и взаимных поглощений имеют особенность относить к одному и тому же классу несмежные точки сетки. У методов Уорда и k -средних на некоторых классификациях данная особенность также присутствует, но выражена она гораздо меньше. Учитывая вышеуказанные особенности, можно рекомендовать алгоритмы Форель и взаимных поглощений для проведения разведочного анализа данных, когда заранее неизвестно число оставляемых для дальнейшего рассмотрения классов. В качестве расстояния между объектами классификации желательно использовать Евклидово расстояние или расстояние Сити-Блок. При этом для выбора оптимальных классификаций рекомендуется использовать сумму внутриклассовых расстояний между объектами классификации в качестве критерия качества.

Исследование временной изменчивости среднеклассовых значений АУО позволило более детально описать динамику горизонтальной циркуляции вод в районах исследования и проследить ее отклик на события Эль-Ниньо в ЮВТО.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы работы.

1. Анализ пространственно-временной изменчивости полей давления, температуры поверхности океана и аномалий уровня океана в районах Центрально-Восточной, Юго-Восточной Атлантики и Юго-Восточной части Тихого океана показал, что основная доля изменчивости гидрометеорологических условий приходится на сезонные и межгодовые колебания среднего по району значения анализируемой характеристики (давления, температуры поверхности океана, соответствующих аномалий и аномалий уровня океана). Вторая компонента полей давления описывает интенсивность зональной составляющей атмосферного переноса на границе раздела океан-материк. Компоненты

разложения полей аномалий уровня океана описывают изменчивость этих аномалий в районах распространения основных течений.

2. При исследовании зависимости результатов разложения от временных пределов анализируемых данных показано, что для разложений полей аномалий давления характер корреляционных связей между компонентами и аномалиями давления не меняется с течением времени. Характер корреляционных зависимостей между главными компонентами полей аномалий ТПО и самих значений аномалий изменяется со временем, причем иногда довольно значительно. Это связано со значительными межгодовыми колебаниями поля аномалий температуры поверхности океана на исследуемых акваториях.
3. Выполнено районирование исследуемых акваторий по характеру сезонной и межгодовой изменчивости аномалий уровня океана. Установлено, что полученные подрайоны соответствуют основным системам течений. В Центрально-Восточной Атлантике в отдельные классы были выделены подрайон влияния ветвей течения Гольфстрим и Азорского течения, подрайон Северного Пассатного течения и подрайон Гвинейского течения. По изменчивости среднеклассовых значений удалось также проследить сезонные колебания аномалий уровня океана в районе распространения Межпассатного противотечения. В Юго-Восточной Атлантике в отдельные классы были выделены подрайон распространения возвратной ветви течения Агульяс, прибрежный подрайон распространения Ангольского и Бенгельского течений, подрайон Южного Пассатного течения и подрайон Южно-Атлантического течения. В Юго-Восточной части Тихого океана по изменчивости уровня были выделены прибрежный подрайон Перуано-Чилийского течения, подрайон Южного пассатного течения, подрайон Южно-Тихоокеанского течения и подрайон распространения северной ветви Антарктического Циркумполярного течения. Было показано, что внутригодовые экстремумы аномалий уровня океана соответствуют сезонным периодам ослабления или усиления течений.
4. При исследовании зависимости результатов районирования от используемого метода классификации выявлены особенности методов кластерного анализа Форель и взаимных поглощений, которые позволяют рекомендовать их для проведения разведочного анализа данных, когда заранее неизвестно число оставляемых для дальнейшего рассмотрения классов.

В **приложении** приводятся карты распределения среднеклассовых нагрузок первых четырех главных компонент скользящих разложений полей аномалий давления и аномалий ТПО на акваториях исследования.

Список работ, опубликованных по теме диссертации.

1. Андрианов Г.Н. Исследование некоторых параметров гидроклимата океана методами многомерного статистического анализа (на примере Юго-Восточной Атлантики)// Тезисы докладов Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 140-летию со дня рождения Н.М. Книповича. Мурманск, ПИНРО, 2002. – С. 11.
2. Сирота А.М., Андрианов Г.Н. Пространственная структура и межгодовая изменчивость аномалий температуры поверхностного слоя в Юго-Восточной части Тихого океана// Тезисы докладов Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 140-летию со дня рождения Н.М. Книповича. Мурманск, ПИНРО, 2002. – С. 177.
3. Сирота А.М., Андрианов Г.Н. Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности вод в Юго-Восточной части Тихого океана: Сб. науч. тр. Атлант. НИИ рыбного хозяйства и океанографии. Калининград, 2002. – С 26-38.
4. Андрианов Г.Н. Выделение подрайонов в Юго-Восточной Атлантике с однотипной барической изменчивостью с помощью методов кластерного анализа. Ученые записки Русского географического общества, Калининград, КГУ, 2003, т. 2 6В-1 – 6В-20.
5. Чернышков П.П., Андрианов Г.Н., Зимин А.В., Полищук И.А., Ремесло А.В., Сирота А.М., Тимохин Е.Н., Шнар В.Н., Шульговский К.Е. Методы многомерного статистического анализа в промыслово-океанологических исследованиях. - Калининград: АтлантНИРО, 2003. – 164 С.
6. Андрианов Г.Н., Голенко М.Н. Физико-географическая классификация изменчивости поверхностного слоя Балтийского моря// Тезисы докладов 4-й Всероссийской научной конференции «Физические проблемы экологии (Экологическая физика)». Москва, 2004. – С. 37.
7. Андрианов Г.Н. Диагноз океанологических условий в ЦВА, ЮВА и ЮВТО с использованием методов многомерного статистического анализа// Тезисы научно-практической конференции «О приоритетных задачах

рыбохозяйственной науки в развитии рыбной отрасли РОССИИ до 2020 года». М.: ВНИРО, 2004. – С. 90-91.

8. Андрианов Г.Н. Зависимость физической интерпретации главных компонент разложения поля аномалий температуры поверхности океана от временных пределов анализируемых данных. Электронный журнал "Исследовано в России", 8, С. 609-617, 2005 г. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/054.pdf>

Заказ 217

Подп. в печать 05.05.05

Формат 60 x 84 1/16

Объем 1,8 п.л.

Тираж 100

Бесплатно

ОНТИ

АтлантНИРО

