

УДК 551.46.062.8:551.5:551.513

На правах рукописи

Бендик Анатолий Борисович

**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АТМОСФЕРНЫХ И  
ОКЕАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА**

Специальность 25.00.28 – Океанология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Калининград - 2007



Работа выполнена в Атлантическом научно-исследовательском институте  
рыбного хозяйства и океанографии (АтланНПО)

**Научный руководитель:**

доктор географических наук,  
профессор

**ЯКОВЛЕВ**  
Владимир Николаевич

**Официальные оппоненты:**

доктор географических наук,  
член-корреспондент РАН

**НЕЙМАН**  
Виктор Игоревич

доктор биологических наук,  
профессор

**САУСКАН**  
Владимир Ильич

**Ведущая организация:** Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)

Защита состоится "13 августа 2007 г. в 15 час. на заседании диссертационного  
совета Д 212.084.02 по защите диссертаций при Росийском государственном универ-  
ситете имени Иммануила Канта по адресу: 236040, Калининград, ул. Университетская,  
2, ауд. 206; e-mail: eorogeography@rambler.ru

С Диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского  
государственного университета имени Иммануила Канта

Автореферат разослан "12" августа 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук

  
Г.М. БАРИНОВА

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность проблемы.* Научный интерес к Юго-Восточной части Тихого океана (ЮВТО) предопределен, с одной стороны, уникальными природными особенно-стями взаимодействия атмосферы и океана, вызывающими время от времени аномаль-но-катастрофические явления Эль-Ниньо. С другой стороны, научно-практический ин-терес связан поисками возможных закономерностей влияния абiotических факторов среды на биологическую продуктивность и эффективность промысла (рисунок 1).

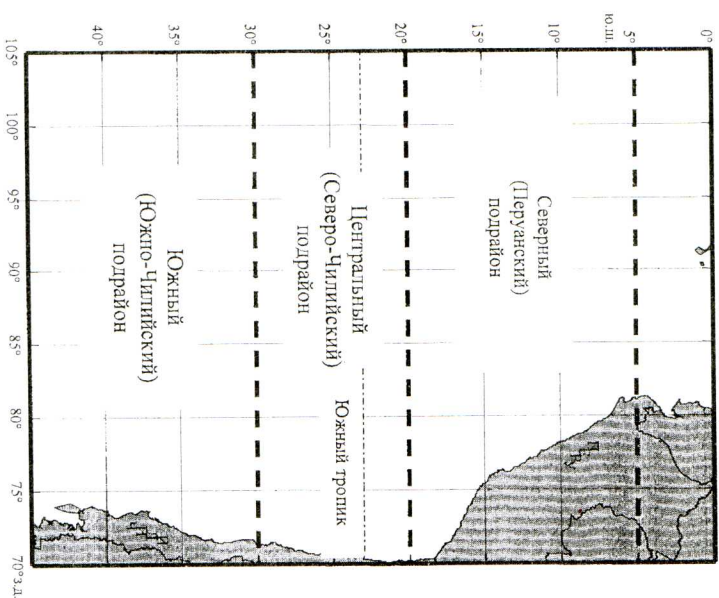


Рисунок 1 - Юго-Восточная часть Тихого океана. Подрайоны отечественного экспедиционного промысла в период с 1978 по 1991 гг.

Успешное развитие методов прогнозирования, как одного из главных конечных продуктов научной деятельности специалистов в области промысловой океанологии, связано с проблемой не столько адаптации новых математических методов к задачам



промышленных прогнозов, но нуждается в углубленном знании и правильном понимании механизмов изменчивости физических, гидродинамических и биологических процессов. Особо все это ощущается на фоне резкого сокращения прямых натуральных наблюдений в редких теперь Морских экспедициях.

Со времен Бьеркнеса и Виртки (Bjerknes, 1969, 1972; Виртки, 1981), которые в 60-70-х годах XX века постарались смоделировать в единой качественной системе взаимодействия основных, по их мнению, факторов, связывающих воздушную и водную оболочки кожной части Тихого океана, появились другие концепции и модели. Расширившие, но во многом усложнявшие общее понимание (Gill, 1983; Zebiak, 1987; Schopf, 1988; Neelin, 1992, 1998; Rieneck, 1997; Weisberg, 1997; Гущина, Денин, Петросяниц, 2000 и др.). Впервые именно Бьеркнесом и Виртки обнаружен "оригинальный конвейер" обмена теплом между востоком и западом экваториально-тропической зоны океана и, тем самым, дано свое понимание явления Эль-Ниньо, ставшее впоследствии классическим.

Однако выяснилось, что, например, периодичность и сценарии Эль-Ниньо весьма заметно меняются во времени (Quinn et al., 1978; Elliott, 1988; Груза и др., 1989; Петросяниц, Гущина, 2002 и др.). В частности, аномалии температуры поверхности океана могут мигрировать не только на восток, но и на запад; пятно теплой воды может не достигать берегов Экватора и Перу, а ограничиваться только центральной частью Тихого океана и т. п. Поэтому приходится признать, что до настоящего времени нет целостной картины и комплексного представления о взаимозависимом, многообразном функционировании океана и атмосферы ЮВТО как многокомпонентной природной системы.

История освоения района и научно-поискового обеспечения отечественного экспедиционного промысла (1978-1991 гг.) указывает на не простой и противоречивый путь изучения степени воздействия гидрометеорологических условий на динамику численности и распределение промысловых объектов. На первых этапах решение прикладных задач океанологии в ЮВТО сводилось к томинанию элементарных причинно-следственных связей между отдельными гидрометеорологическими показателями и поведением рыбных скоплений. Достижение поставленной цели осуществлялось постепенно от поиска частных, фрагментарных зависимостей к формированию общих, системных взглядов на закономерности, характер развития, особенности взаимовлияния различных факторов и процессов в океане и атмосфере района.

**Цель и задачи работы.** Как показала ревизия и систематизация собранных в разные годы экспедиционных материалов, а также попытки параметризации отдельных их составляющих, корректное совместное использование полученных данных очень за-

труднительно и даже в ряде случаев нецелесообразно, особенно, для применения математических методов (Бендик, Яковлев, 2005). Причина - крайняя пространственно-временная неравномерность экспедиционных полигонов, на которых собирались гидрометеорологические, гидробиологические и биолого-статистические данные вылова.

Цель работы - выявление основных структурных особенностей атмосферных и океанических процессов в Юго-Восточной части Тихого океана.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи.

1. Выработать методологические подходы к исследованию атмосферных и океанических процессов, а затем на основе новой методологии расширивать физические механизмы взаимного влияния наиболее характерных факторов, параметров и явлений в океане и атмосфере ЮВТО.

2. С использованием концепции логической модели гидрометеорологического мониторинга дать представление о физико-географических закономерностях формирования в ЮВТО доступной потенциальной энергии в качестве одной из интегральных характеристик динамического состояния вод.

3. Создать качественную модель взаимодействия океана и атмосферы ЮВТО, в рамках которой показать изменчивость системы "океан-атмосфера" ЮВТО, включая особые гидрометеорологические ситуации, их нормальный (Ла-Нинья) и аномальный (Эль-Ниньо) ход.

4. Изучить особенности и отразить в качественной модели режимы максимальной устойчивости усиленной и ослабленной циркуляции океана и атмосферы ЮВТО, рассмотреть ретроспективную сопряженность разных режимов циркуляции с состоянием промысловой продуктивности.

5. Выработать возможный сценарий развития гидрометеорологических процессов в ЮВТО на ближнем и долгосрочную перспективу.

**Объект исследования.** Атмосферные и океанические процессы, их сезонная и межгодовая изменчивость в Юго-Восточной части Тихого океана.

**Предмет исследования.** Разработка и апробация логической и качественной моделей структурного взаимодействия океана и атмосферы ЮВТО, их диагностических и прогнозических возможностей.

**Материалы и методы исследования.** Основной проводившихся исследований послужили материалы морских экспедиций (всего более 150), осуществленных научно-исследовательскими и научно-поисковыми судами ВНИРО, АтлантНИРО и Управлением "Запрыбпромразведка" в период активного освоения района (1979-1991 гг.). Во



многих экспедициях автор принимает непосредственное участие, начиная с 1982 г., и заканчивая последней по времени проведения экспедиции в 2002-2003 гг. Критерием отбора конкретных материалов, как правило, служило наличие в каждом из них глубоководных наблюдений, выполненных на стандартных горизонтах в процессе проведения комплексных океанологических, гидробиологических и тралово-аквустических съемок или разрезов. Привлекались и другие гидрометеорологические материалы, собранные в разные годы отечественными и зарубежными организациями.

Были задействованы данные о среднемесячном атмосферном давлении на уровне моря за период 1970-2003 гг., а также среднемесячная температура поверхности океана (ТПО) и ее среднемесячные аномалии (АТПО) за период 1971-2002 гг. (массив NCEP/NCAR Reanalysis). В рамках постоянного научного мониторинга отслеживались среднемесячные индексы Южного Коледания (ЮК), получаемые на Гидрометеологического центра России. В последнее время использовались среднемесячные значения атмосферного давления в центре Южно-Тихоокеанского антициклона (ЮТА), положение широты и долготы его центра, рассчитанные за период 1949-2003 гг. В.Н. Матининым (Санкт-Петербург, РГТУ).

По мере необходимости привлекались материалы глубоководных наблюдений в ЮВТО из международной базы данных, включающей в себя результаты глубоководных океанологических наблюдений по всему Мировому океану (Levitus et al., 1998).

Нашли также свое применение наиболее репрезентативные промысловостатистические материалы из соответствующего каталога АтланТИРО по результатам работы в ЮВТО отечественного рыболовьяношето флота.

Все материалы метеорологических и океанологических наблюдений обрабатывались традиционными методами, применяемыми в современных исследованиях.

**Научная новизна и теоретическая значимость.** На основе изученности литературных источников изложены достоинства и недостатки ряда современных математических моделей, в которых используется как реальное состояние начальных условий взаимодействия океана и атмосферы, так и воспроизводятся последующие этапы их возможного развития. Структурированы важнейшие атмосферные и океанические параметры ЮВТО, дано описание условий формирования и изменчивости характерных явлений в океане и атмосфере региона.

Результаты исследований позволили выделить и проанализировать сезонность основных, возникающих в южной половине Тихого океана, и, в частности, в ЮВТО, гидрометеорологических ситуаций (состояний океана и атмосферы) с использованием экс-

педиционных наблюдений и доступной литературы. При этом впервые в практике промыслово-океанологических исследований нашли широкое применение результаты расчетов и картирование значений доступной потенциальной энергии вод океана. Впервые на основе концепции логической модели гидрометеорологического мониторинга реконструированы и объявлены механизмы взаимного влияния наиболее характерных доминирующих факторов, как в океане, так и в атмосфере ЮВТО.

Также впервые, в рамках качественной региональной модели, дано описание поведения океана и атмосферы как квазилинейной колебательной системы между тропическими режимами высокой и низкой интенсивности процессов. Анализ фактических и прогнозных показателей ЮТА с учетом двух моделей - качественной модели взаимодействия океана и атмосферы и математической политармонической модели - впервые позволили предложить возможный прогноз Эль-Ниньо на первую половину XXI века.

Результаты исследований имеют научно-практическое значение для океанического промысла, мореплавания и др.

**Практическая значимость работы.** Результаты многолетних исследований проблемы взаимодействия океана и атмосферы ЮВТО, изложенные наиболее полно в данной диссертации, широко использовались ранее, а также используются в настоящее время при разработке гидрометеорологических основ прогнозов возможного вылова рыбы и нерыбных объектов в межгодовом и внутритроновом аспектах. За годы применения концепции логической модели мониторинга, а позже элементов качественной модели взаимодействия океана и атмосферы ошибочных предсказаний возможных тенденций и характера развития гидрометеорологических процессов в ЮВТО не зафиксировано.

Впервые в работе над ежегодными уточнениями гидрометеорологических разведок прогнозов вылова появилась возможность применять комплексный подход к диагнозу и прогнозу Эль-Ниньо на основе двух независимых моделей - концептуальной качественной и расчетной политармонической.

**Диробация полученных результатов.** Отдельные части работы и диссертация в целом докладывались и обсуждались на коллоквиумах лаборатории промысловой океанологии и отчетных сессиях АтланТИРО, на географическом факультете Российского государственного университета имени Иммануила Канта, на IX Конференции по проблеме океанологии (Лесное-Калининград, 1993), на IX Всероссийской конференции по проблемам рыбопромыслового прогнозирования (Мурманск, 1999), на XIII Международной конференции по промысловой океанологии (Светлогорск-Калининград,



2005), а также на региональных конференциях Русского географического общества (Калининград, 1999; 2003).

#### ***Основные положения, выносимые на защиту:***

1. Концепция логической модели гидрометеорологического мониторинга ЮВТО.
2. Возможные варианты сценариев последовательной смены наиболее выраженных гидрометеорологических ситуаций в районе, когда циркуляция тропических и субтропических вод ЮВТО саморегулируется, проявляя противоположные черты по отношению к интенсивности юго-восточного пассата.
3. Качественная модель взаимодействия океана и атмосферы ЮВТО в режиме двух обих для океана и атмосферы максимально устойчивых циркуляций (устойчивой и ослабленной). Выделенный вариант той же модели раздельно для океана и атмосферы.
4. Комплексный подход к диагнозу и прогнозу Эль-Ниньо в ЮВТО, включающий концепцию качественной модели и модель полигармоническую.

***Структура и объем диссертации.*** Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения и библиографического списка используемой научной литературы. Текст изложен на 150 страницах, содержит 2 таблицы и 31 рисунок. Список литературы включает в себя 289 публикаций, из которых 148 на русском и 141 на иностранных языках.

***Благодарности.*** Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю д.т.н. проф. Владимиру Николаевичу Яковлеву за внимательное, плодотворное сотрудничество на всех этапах проводившихся исследований и в период работы над диссертацией. Автор также благодарен сотрудникам, руководству лаборатории промышленной океанологии и других подразделений отдела океанических биоресурсов АтлантиПРО за полезное обсуждение отдельных разделов диссертации и рукописи в целом, а Ирине Александровне Тенинкой и Людмиле Евгеньевне Сазогатник за большую помощь в техническом оформлении рисунков, таблиц и рукописи.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются цели и задачи исследования, в том числе положения, выносимые на защиту.

Определяется цель по возможности максимально полно изложить имеющиеся на настоящее время представления о физической сути процессов формирования, законо-

мерностях развития и обстоятельствах смены разных гидрометеорологических условий, характерные особенности каждого из которых в той или иной степени ответственны за биологическую составляющую природно-экологического комплекса ЮВТО.

Для достижения поставленной цели ставится общая задача отразить логически полную картину взаимообусловленных состояний океана и атмосферы, как единой системы.

**В первой главе** представлен обзор изученности проблемы взаимодействия океана и атмосферы ЮВТО в ретроспективном и современном аспектах.

Освещаются современные представления, концепции, научные подходы к изучению и пониманию природных процессов и явлений в океане и атмосфере региона. Рассматриваются с разных точек зрения различные теории, объясняющие природу и механизм феноменального явления Эль-Ниньо. Подчеркивается неразрывная связь этого явления как с процессами в атмосфере, так и с процессами в океане ЮВТО.

Из разных литературных источников рассмотрены наиболее значимые и перспективные для дальнейшего совершенствования физико-математические модели взаимодействия океана и атмосферы, разработанные независимыми группами отечественных и зарубежных ученых. Многие коллективные и индивидуальные авторы моделей отмечают низкий уровень качественных представлений, а также неудовлетворительную трактовку физической сути и механизмов взаимодействия атмосферных и океанических процессов, что значительно снижает эффективность и качество конечных результатов (Гушина, Девитт, Петросянц, 2000; Глазунов, Дымников, 2002; Кузин, Моисев, 2002 и др.).

**Во второй главе** формулируются методологические подходы к исследованию атмосферных и океанических процессов в ЮВТО.

Представлена концепция логической модели взаимодействия океана и атмосферы района, как основа научного мониторинга феноменологических условий. В рамках основополагающих принципов модели для Перуанского, Северо-Чилийского и Южно-Чилийского подрайонов ЮВТО рассматриваются конкретные ситуации, оценивается вклад различных факторов в формирование тех или иных гидрометеорологических условий. Сущность модели, алгоритм последовательной работы с ней в кратком виде излагается в следующем.

Через **принципы относительной устойчивости** конкретной гидрометеорологической ситуации, отражающий степень саморегуляции процессов в динамической систе-



ме "океан-атмосфера", являются наиболее убедительные факты, доказывающие относительно стабильные состояния океана и атмосферы.

Далее, согласно **принципу доминантии**, определяется преобладающий процесс (один или несколько), анализ которого дает возможность отследить логику поведения системы "океан-атмосфера".

При этом имеется в виду, что **принцип замены** одной устойчивой гидрометеорологической ситуации на другую устойчивую предполагает внутри любой ситуации зарождение и развитие процесса, приводящего к смене этой ситуации.

Однако, следуя **принципу преемственности**, процесс смены ситуации подразумевает оптимальный и сбалансированный вариант смены ситуаций в зависимости от характерных особенностей, вектора направленности и интенсивности доминирующих процессов в системе "океан-атмосфера".

Практически всегда можно видеть, что оптимальное и сбалансированное развитие процессов в воздушной и океанической среде происходит тогда, когда противоположные по свойствам и характеру устойчивые гидрометеорологические ситуации существуют и взаимодействуют только в четном варианте, исходя из **принципа четности**.

Однако нередко неоднозначность преобразования одной гидрометеорологической ситуации в другую констатирует факт непонимания (полного или частичного) времени скрытых природных механизмов, которые через **принцип неопределенности** рано или поздно, но должны быть найдены среди альтернативного (многовариантного) развития событий в системе "океан-атмосфера".

Определять иерархию причинно-следственных связей в преемственном развитии разных компонентов внутри меняющейся гидрометеорологической ситуации помогает **принцип причинности**, с помощью которого необходимо установить приоритеты наиболее важных связей при выявлении доминирующих процессов и степень их влияния на последующее развитие ситуации.

И, наконец, **принцип предсказуемости** предполагает диагностическое суждение о возможности или невозможности предвидения последующего этапа развития гидрометеорологической ситуации на основе ранее примененных принципов, равно как и в результате всестороннего анализа всего комплекса условий, характеризующих состояние океана и атмосферы исследуемого района.

Применение логической модели при ведении научного мониторинга в ЮВТО существенно помогло оптимизировать поиск и объяснение причинно-следственных связей между процессами в океане и атмосфере, открыло возможность приблизиться к по-

ниманию физической сущности происходящих явлений. В этой связи можно сослаться на многолетний опыт использования традиционного динамического метода с построением карт геострофической циркуляции совместно с расчетами и картированием логичной потенциальной энергии вод, как одного из основных претендентов на универсальность в качестве абиотического критерия биологической продуктивности океанических вод ЮВТО (Пыганов, Вендик, 1984; Вендик и др., 1985).

Дана краткая характеристика используемых первоисточников метеорологических, океанологических, других данных и материалов, а также перечислены методы, примененные в исследованиях.

В третьей главе на основе современных представлений обосновывается необходимость и ставится цель разработать новую концепцию – качественную модель взаимодействия океана и атмосферы южной части Тихого океана, отражающую, как региональный механизм такого взаимодействия, так и общий планетарный. При этом в качестве базисной теории использовался классический подход Вьеркнеса-Виртки к проблеме Эль-Ниньо с учетом сильных и слабых сторон этого подхода.

Разъясняется трактовка изучаемой в модели динамической системы "океан-атмосфера" не как изолированной, но всегда открытой по отношению к внутренним и внешним источникам, воздействующим на нее.

Особо подчеркивается, что задача построения модели реализуется не от факта уже существующего феномена Эль-Ниньо, с определенной казипериодичностью проявляющегося в юго-восточном секторе Тихого океана, что чаще всего делают многие другие авторы, но конструируется – логически моделируется, как последовательность иерархического развития процессов в океане и атмосфере. В создаваемой модели планируется показать, при каких обстоятельствах может возникнуть или отсутствовать явление Эль-Ниньо, исходя из убеждения, что все процессы наиболее ярко и четко проявляются в двух состояниях – усиленном и ослабленном режимах циркуляции.

В модели рассмотрены два функциональных структурных блока, демонстрирующих два противоположных состояния системы "океан-атмосфера". Одновременно таковой подход должен способствовать ранжированию природных показателей по степени их репрезентативности.

Детально рассматриваются процессы формирования ветрового поля юго-восточного пассата, объясняются механизмы развития к югу от экватора в Тихом океане, эпизодически возникающих, антициклональных ячеек атмосферной, а значит и океанической циркуляции в составе общего Южно-Тихоокеанского антициклонального



обращения воздушных и водных масс (Malpas, 1958; Ralston et al., 1958). Центрами таких самостоятельных ячеек являются временно изолированные части ЮТА. Выдвигаясь предположение, что от продолжительности их существования, трансформации формы во многом зависят не только региональные процессы, но и состояние системы "океан-атмосфера" в масштабах всей южной половины океана. Следовательно, в поле пассатного ветра существуют меридиональные разрывы, вызванные обособлением ячеек ЮТА.

В связи с этим критически оценивается теория Бьеркнеса-Виртки, особенно с точки зрения их позиции упростить свою модель за счет игнорирования процессов, действующих в субтропическом и умеренном климатических поясах. Поэтому представленные Бьеркнеса-Виртки о накоплении перестетых воздушных масс и теплой воды только на западной окраине океана за счет гигантского приэкваториального шлейфа юго-восточного пассата, не вполне верно. Такое представление искажает анализ реальных условий и затрудняет предвидение сроков наступления переломных процессов, связанных с ослаблением атмосферной и океанической циркуляции, формированием, пространственно-временным развитием и ранджированием температурных аномалий на поверхности океана, а также сезонным ходом этих процессов.

**Четвертая глава** посвящена описанию характерных черт сезонных и межгодовых изменений гидрометеорологических условий ЮВТО.

Указывается, что нарушение пространственно-временной стабильности и однородности поля юго-восточного пассата непосредственно зависит от ослабления ЮТА и напрямую связано со смещением восточного центра антициклона к югу, юго-востоку, что хорошо отражает тенденция падения индекса ЮК. Такой атмосферной перестройке характерен соответствующий отклик Перуано-Чилийского комплекса течений, когда он переходит к состоянию пространственно-временной неустойчивости.

Показано, что наиболее чувствительные последствия на состоянии физико-экологического комплекса ЮВТО вносит межгодовая изменчивость гидрометеорологических процессов, особенно в тропическо-субтропической зоне.

На основе изучения литературных источников, а также собственных результатов исследований делается вывод, что Эль-Ниньо – это региональное явление и его зарождение связано со сложившимися географическими, орографическими условиями, особенностями общей циркуляции вод в экваториальной зоне Тихого океана и в смежных областях. Дана оценка явления Эль-Ниньо не только как регионального события, но и в качестве его последствий, которые могут отражаться далеко за пределами ЮВТО.

Иллюстративным примером формирования и распределения на поверхности океана теплых и холодных аномалий ТПО вследствие состоявшегося атмосферного воздействия приведены ретроспективные материалы, наиболее ярко отражающие последние в календаре катастрофическое событие Эль-Ниньо 1997-1998 гг., этапы его начала, развития и затухания.

Рассматривается влияние атмосферной циркуляции на динамику океанических вод умеренных широт. При этом особое внимание уделено процессам формирования и изменчивости разномасштабных фронтальных разделов в океане, их значимости в структуре и динамике водных масс региона.

Акцентируется внимание на том, что последствия смены синоптических ситуаций для верхнего слоя океана выражаются, прежде всего, в перманентном обострении или размывании структуры локальных фронтальных участков, что вызывает усиление или ослабление процессов конвергенции и дивергенции в системе Южно-Тихоокеанского течения вдоль Субтропического фронта.

**В пятой главе** рассматриваются физико-географические закономерности формирования в ЮВТО доступной потенциальной энергии (ДПЭ) в качестве одной из интегральных характеристик динамического состояния вод.

Подчеркивается, что мейандры Перуанской системы течений имеют классический вид волновых возмущений, амплитуда которых по мере приближения основных ветвей течения к экватору постепенно растет, а сами мейандры могут быть столь велики, что в определенные моменты способны преобразовываться в самостоятельные синоптические вихри. Важнейший энергетический источник нарастающих мейандров - потенциальная энергия наклоне изокинетических поверхностей в толще срежняя течения. Указанная энергия доступна для своего перехода в кинетическую энергию волнового возмущения течения – в конкретный мейандр, формирование которого неразрывно связано с нарастающим процессом дивергенции скорости.

Ключевым механизмом перетачи ДПЭ служат градиентно-вихревые волны. Особенность таких волн – активное их взаимодействие с полем средней географической циркуляции. При этом само географическое течение может претерпевать значительные изменения после воздействия на него градиентно-вихревых возмущений.

Рассмотрены физическая суть и методические аспекты расчета ДПЭ. Показано, что ДПЭ в слое одинаковой толщины соответствует рельефу свободной поверхности океана.



Из этого вывода следует, что при геострофическом равновесии в неоднородном по вертикали океане в случае нарушения горизонтальности свободной поверхности происходит перераспределение плотности.

При этом полная потенциальная энергия двух соседних столбов жидкости остается равной и постоянной.

Другое следствие – возможность расчета ДПЭ непосредственно по распределению плотности без привлечения гипотезы о положении нулевой динамической поверхности.

**В шестой главе**, следуя логической модели мониторинга, отражены основные связи абиотических и биотических параметров вод ЮВТО, что характеризует район, как уникальный, с точки зрения биологического и промыслового потенциала.

Как показали результаты проведенной АгланТИРО в 2002-2003 гг. последней по времени экспедиции, ЮВТО продолжает сохранять за собой позиции особо перспективного района для успешной работы там большой экспедиционной группы промыслового флота.

Благодаря гигантскому антициклональному круговороту воздушных и океанических масс, в южной части Тихого океана на периферии восточных пограничных течений создаются уникальные условия формирования высокой биологической продуктивности. Под влиянием интенсивного Перуано-Чилийского апвеллинга с учетом сицицифичности местных факторов, зависящих от климатических поясов, благоприятные условия среды формируются не только в шельфовых районах, но и далеко в открытом океане.

Столь же уникальна и южная периферия круговорота, где на разделе субтропических и субантарктических водных масс вдоле Субтропического фронта создаются вертикальные зоны, формируются фронтальные мезандры и вихри самых разных пространственно-временных масштабов.

Многолетний опыт исследований ДПЭ вод ЮВТО показал, что прикладные аспекты такого рода работ могут быть полезны и успешно применимы для более полного, всестороннего диагноза термохалинной и динамической структуры вод. Биопродукционные процессы которых представляют интерес.

Приведены примеры ретроспективных материалов, иллюстрирующие пространственно-временную изменчивость поля ДПЭ в качестве индикатора степени развития общей биологической и промысловой продуктивности.

Для разных сезонов и лет в тропических и субтропических водах Перуанского подрайона ЮВТО (5-20° ю.ш.) отмечены особенности распределения бюджета ДПЭ, кото-

рые оказались тесно связаны, например, с распределением планктона – основной кормовой базой разновозрастных промысловых рыб. Дано описание развития природных процессов в ЮВТО с учетом ДПЭ.

Для экосистемы умеренных широт (30-50° ю.ш.) приоритетное значение в формировании промысловой продуктивности имеет, так же, как и в тропическо-субтропической зоне океана, трехмерное поле циркуляции, но в широтной системе Южно-Тихоокеанского течения. В Южно-Чилийском подрайоне нулевой экипотенциальная граница между двумя различными водными массами, обладающими, с одной стороны, запасом, а, с другой стороны, дефицитом ДПЭ, представляет собой устойчивый пространственно-временной ориентир массовых рыбных скоплений.

**Седьмая глава** подводит итог создания качественной модели взаимодействия океана и атмосферы ЮВТО.

В рамках модели уделено особое внимание характерному природному алгоритму развития системы "океан-атмосфера" в тропическом и субтропическом поясе, где время от времени проявляется себя феномен Эль-Ниньо.

Выделены четыре наиболее характерные гидрометеорологические ситуации, две из которых устойчивы, а две неустойчивы в различных пространственно-временных масштабах (рисунок 2).

Определены две оригинальные подсистемы взаимодействия океана и атмосферы тропиков – субтропиков ЮВТО: "Юго-восточный пассат – Перуанское течение" и "Юго-восточный пассат – Перуано-Чилийское противотечение", каждая из которых имеет свой особый режим циркуляции океанических и воздушных масс. Установлено, что функционирование двух указанных потоков порождает спектр автоколебаний в системе "океан-атмосфера" ЮВТО, как внутритропического так и межгодового масштабов времени.

Показано, что условия устойчивой фазы саморегулируемого режима движений в подсистеме "Юго-восточный пассат – Перуано-Чилийское противотечение" на фоне резкого и стабильного падения барико-климатического индекса ЮК можно оценивать как предтечу явления Эль-Ниньо.

Утверждается, что для формирования высокой биологической продуктивности и ведения эффективного промысла последствия функционирования выделенных подсистем абсолютно разные: в одном случае (стабильно сильный юго-восточный пассат) – благоприятные, в другом (слабый пассат до почти безветрия) – не благоприятные.



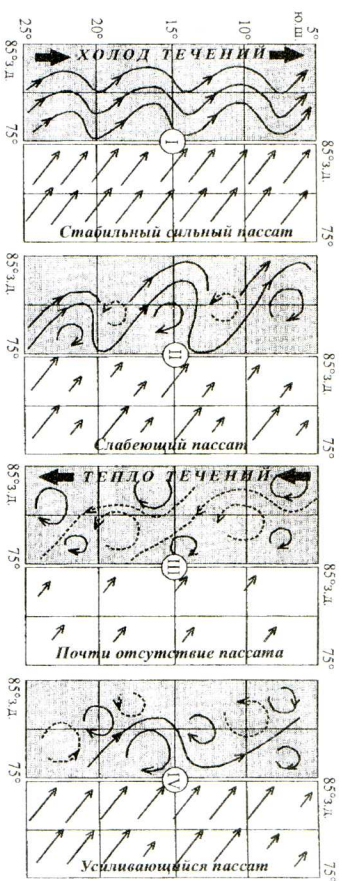


Рисунок 2 - Основные характерные ситуации (I, II, III и IV) развития процессов в

океане (левая затененная сторона) и атмосфере (правая сторона). Прямыми большими и малыми стрелками на правой стороне (атмосфера) показано ветровое поле которого бражког меандрирующее Перуанское течение (прибрежное и океаническое); волнообразные пунктирные линии - Перуано-Чилийское противотечение. Полузамкнутые овальные линии со стрелками демонстрируют циклонические (сплошные линии) и антициклонические (пунктирные линии) вихри Перуанской системы течений. Широкие черными стрелками обозначен доминирующий водный перенос в устойчивых ситуациях I и III.

Представлены описания максимально усиленного и максимально ослабленного режимов общей циркуляции океана и атмосферы, приведены структурные блок-схемы прямых и обратных связей между основными метеорологическими и океанологическими компонентами качественной модели.

Одновременно представляются по существу те же блок-схемы, но уже в виде немненькие раздельно для атмосферы и океана с тем же набором процессов в той и другой среде. Наглядность композиционного размещения каждого из этих элементарных процессов в четырех крупных структурных блоках и для атмосферы, и для океана позволяет более четко представлять текущее состояние, аргументировано проводить мониторинг и логически выводить на качественное предвидение последующего развития природных событий и явлений.

Подчеркивается, что разработанная модель описывает поведение океана и атмосферы как колебательную систему между экстремальными режимами высокой и низкой интенсивности процессов. Режимы, по сути, представляют собой противоположные пространственно-временные состояния устойчивости, когда среднее состояние устанавливается редко.

Указано также, что в модели заложена принципиальная возможность мониторинга важнейших процессов и явлений, возможность нахождения среди них доминирующих и угасающих, т.е. способность реально оценивать состояние региональной системы "океан-атмосфера".

Если рассмотренные режимы есть крайние состояния устойчивости системы, то, будучи открытой, она постоянно испытывает внешние и внутренние воздействия по всем пространственно-временным шкалам. Следовательно, существуют неустойчивые переходные состояния системы, функционирование подсистем и компонентов которой дает представление о сценарии дальнейшего развития, т.е. в рамках модели можно и нужно получать определенную прогностическую информацию.

Показана сопряженность разных режимов циркуляции с состоянием биологической продуктивности. Использовались расчеты и карты распределения ДПЗ, а также результаты деятельности рыболовного флота за период ответственного экспедиционного промысла в ЮВТО (промыслово-статистические данные среднемесячного, среднего по одноградусным квадратам, общему вылова в тыс. т.).

В тропическом и субтропическом поясе ЮВТО раздели между областями с западом и дефицитом ДПЗ зимой располагается гораздо мористее - на расстоянии по 300-400 миль в сравнении с летним его положением, будучи в согласии с особенностями усиленного и ослабленного режима океанической циркуляции. Это вполне отражает сезонность промысла за пределами 200-мильной экономической зоны Перу, что одновременно иллюстрирует благоприятные условия нереста при максимально развитом апвеллинге и существенном западе ДПЗ океанических вод (июль-сентябрь), а также неблагоприятные при дефиците ДПЗ (январь-март).

Для умеренного пояса ЮВТО, наоборот, характерна круглогодичная возможность поддержания высокой биологической продуктивности и, как следствие, эффективности промысла вне зависимости от режимов циркуляции. Делается вывод что, и дивергенция, и конвергенция, как главная особенность района Субтропического океанического фронта, действуя и при режиме усиленной циркуляции, и при ослабленной, более всего ответственны за интеграцию благоприятных условий формирования здесь повышенной продуктивности. В качестве подтверждения обращается внимание на процесс перераспределения ДПЗ через фронтальные синоптические вихри системы Южно-Тихоокеанского течения, непрекращающийся при любом режиме циркуляции. Тем не менее, массовый нерест рыбы в южных широтах происходит, наоборот, все же, с



наиболее благоприятным сезонным сроком (ноябрь-март) в период ослабленного ре-  
жима циркуляции, когда запас ДПС в три раза больше, чем при усиленном режиме.

На основе разработанной качественной модели дано описание возможного сценария развития природных процессов в регионе до 2010 г. С учетом рассмотренной многовариантности феноменологических событий представлено суждение о сроках возможного наступления очередного катастрофического Эль-Ниньо не ранее 2008-2010 гг.

**Восьмая глава** освещает реализацию комплексного подхода к диагнозу и прогнозу явления Эль-Ниньо.

Обращается внимание, что динамические условия эволюции области повышенного атмосферного давления в субтропиках, интенсивность, местоположение и площадь основной гребней ЮТА, воздействуют также на тропическую и умеренную климатические зоны. Поэтому формирование в ЮВТО обширного шлейфа юго-восточного пассата, сезонные и межгодовые его особенности существенно зависят от местоположения географического центра антициклона, его интенсивности.

В свою очередь, это вызывает адекватную реакцию океана, в котором активность или ослабленность Перуано-Чилийской системы течений и противотечений, стимулируемой соответствующим ветровым полем, определяет дальнейшее развитие региональной системы "океан-атмосфера", включая, естественно, и аномальный его ход (Эль-Ниньо).

Признано обоснованными из набора важнейших атмосферных факторов, насыщенных созданным качественным моделью развития процессов, остановиться на ЮТА и выбрать его морфометрические характеристики: атмосферное давление, пироту и доплету географического центра. Для этой цели использовался массив фактических среднемесячных данных за период 1949-2003 гг. На базе этого массива прогностические значения каждого из трех показателей ЮТА на период 2004-2061 гг. по нашей просьбе были получены А.Е. Антоновым (Санкт-Петербург, ГосНИОРХ) на основе разработанной Д.И. Якушевым (Санкт-Петербург, ВНИИМ им. Д.И. Менделеева) программы, учитывающей полипармоническое представление исходного ряда и использующей соответствующий математический аппарат. Методические аспекты программы были неоднократно и успешно апробированы, что нашло отражение в ряде публикаций (Антонов и др., 1997; Антонов, Якушев, 1998, 1999; Якушев, 2000).

Нами графически проанализировано и прокомментировано распределение вышеуказанных характеристик ЮТА для двух крайних по сезонам в каждом году месяцев –

марта и сентября за период с 1949 по 2003 гг. - фактические данные и до 2061 г. – прогностические для тех же месяцев.

Выбранные месяцы представляют собой периоды статистически средних для южного полушария критических фаз: в первом случае (март) – ослабленного режима лентной атмосферной циркуляции, во втором случае (сентябрь) – усиленного режима зимней циркуляции.

Обнаружено преобладание прогностической давления в марте и сентябре на рассматриваемом 54-летнем ряду наблюдений.

Однако обращает на себя внимание существование тенденции хода среднемесячных значений давления быть в одной фазе в годы Эль-Ниньо. Более четко такая тенденция проявляет себя в периоды катастрофических событий Эль-Ниньо, прежде всего, Эль-Ниньо 1982-1983 и 1997-1998 гг. При этом для марта просматривается определенная периодичность в чередовании лет со сравнительно высоким и низким атмосферным давлением в центре ЮТА. Периодичность эта углубляется, примерно, в 13-летние циклы. Для сентябрьских значений атмосферного давления смена периодов с относительно высоким и низким давлением чаще всего происходит через шесть лет.

Максимальная прогностическая значимость давления для марта и сентября наблюдается в годы, предшествующие катастрофическим Эль-Ниньо.

По аналогии с межгодовым анализом фактического и прогностического атмосферного давления в центре ЮТА расшифрованы и проанализированы графики полужения пироты и доплоты его центра. Были получены близкие результаты прогноза Эль-Ниньо на перспективу первых десятилетий текущего века (Яковлев, Бендик, 2006). Выполненный анализ временных графиков фактических и прогностических показателей ЮТА с учетом двух моделей позволил предположить возможное "расписание" прогноза катастрофических, сильных и слабых Эль-Ниньо на первую половину XXI века (таблица).

Показано, что совмещение в одном исследовании двух разных подходов к изучению природы повышает надежность анализа, достоверность диагноза и, тем самым, расширяет перспективы достоверности сделанного сверхдлготермического прогноза. Весьма близкое совпадение прогностических сроков Эль-Ниньо разной интенсивности при анализе трех выбранных параметров ЮТА убеждают в правильности оценки развития системы "океан-атмосфера" в целом.



Осредненные характеристики ЮТА				Годы Эль-Ниньо		
Ра. Г/та	φ°, ю. ш.	λ°, з. д.		катастро- фические	сильные	слабые
март сентябрь	март сентябрь	март сентябрь	сентябрь	2010-2012		
1019 1023	36 31	86 91				
1021 1023	36 31	92 98		2018-2020		
1022 1025	35 33	96 100				2013-2014
1019 1024	34 30	88 92		2023-2025		
1021 1023	34 30	94 94			2032-2034	
1021 1024	32 32	100 96				2028-2029
1020 1023	36 28	96 100		2042-2044		
1021 1023	34 28	88 88			2050-2052	
1021 1025	32 32	98 96				2046-2047
1019 1025	36 32	94 98				2055-2056

### В заключении кратко сформулированы основные результаты исследований.

1. Определены и структурированы наиболее важные компоненты региональной системы "океан-атмосфера" ЮВТО. Показан физический механизм формирования юго-восточной ячейки антициклонального вращения воздушных и водных масс. При этом для атмосферы характерно тесное взаимодействие ЮТА, внутритропической зоны конвергенции, циркуляции Уолкера и Галлея, юго-восточного пассата и др.; для океана - экваториальной, перуанской, южно-тихоокеанской системы течений, а также формирования в них фронтотенез, апвеллинг, мейндры, синоптические вихри и др.
2. Реконструированы механизмы взаимного влияния доминирующих факторов в океане и атмосфере ЮВТО с использованием концепции логической модели гидрометеорологического мониторинга, в частности, выделены четыре наиболее характерные гидрометеорологические ситуации, две из которых устойчивы, а две неустойчивы в различных пространственно-временных масштабах.
3. Разработана общая для океана и атмосферы качественная региональная модель, которая легко преобразуется в подобную модель отдельно для океана и атмосферы с набором все тех же компонентов, участвующих, как в двух экстремальных режимах циркуляции, так и в двух переходных. Модель позволяет оценивать конкретные гидрометеорологические ситуации, как благоприятные, так и неблагоприятные для биологической продуктивности.

4. Понимание физической сущности природных процессов в ЮВТО принципиально позволяет с помощью качественной модели предвидеть конкретные гидрометеорологические ситуации. На основе двух моделей - концептуальной качественной и математической полиармонической - предложено возможное "расписание" Эль-Ниньо на первую половину XXI века.

### Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Цыганов, В.Ф. Распределение доступной потенциальной энергии и особенности динамики вод Перуанского района / В.Ф. Цыганов, А.Б. Бендик // Океанологические факторы в промысловом прогнозировании: сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. - Калининград, 1984. - С. 66-74.
2. Бендик, А.Б. Влияние гидрометеорологических факторов на формирование продуктивных зон Юго-Восточной части Тихого океана / А.Б. Бендик, В.Ф. Цыганов, В.Н. Чур, В.И. Яковлев // Биологические основы промыслового освоения открытых районов океана. - М.: Наука, 1985. - С. 49-56.
3. Цыганов, В.Ф. Принципы логической модели прогнозирования развития гидрометеорологических процессов в районах ЮВТО / В.Ф. Цыганов, А.Б. Бендик // Проблемы краткосрочного прогнозирования и управления флотом на промысле: тез. докл. 2-го Всесоюз. совещ. - Калининград, 1985. - С. 155-157.
4. Цыганов, В.Ф. Характерные черты взаимодействия океана и атмосферы тропической зоны Юго-Восточной части Тихого океана в годы Эль-Ниньо / В.Ф. Цыганов, А.Б. Бендик // Промыслово-океанологические исследования в Атлантическом океане и Юго-Восточной части Тихого океана: сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. - Калининград, 1986. - С. 38-45.
5. Бендик, А.Б. Пространственная характеристика нереста перуанской ставриды (*Tachiptys pilchurii*) в связи с межгодовым распределением доступной потенциальной энергии открытых вод Юго-Восточной части Тихого океана / А.Б. Бендик, Г.П. Рудометкина // Промыслово-океанологические исследования в Атлантическом океане и Юго-Восточной части Тихого океана: сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. - Калининград, 1988. - С. 79-91.
6. Рудометкина, Г.П. Распределение и питание перуанской ставриды (*Tachiptys pilchurii*) в раннем онтогенезе / Г.П. Рудометкина, Л.Г. Гардина, Г.З. Галактионов, А.Б. Бендик // Экологические рыбохозяйственные исследования в Атлантическом океане и



- Юго-Восточной части Тихого океана: сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. - Калининград, 1988. - С. 50-67.
7. Бендик, А.Б. Природные особенности формирования промысловых скоплений рыбы в открытых водах Перуанского района зимой-весной 1989 г. и генденция различия океанических процессов / А.Б. Бендик // Экологические рыбохозяйственные исследования в южной части Тихого океана: сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. - Калининград, 1991. - С. 81-86.
8. Бендик, А.Б. Океанологические предпосылки концентрации нерестовой ставриды в океанических водах Южно-Чилийского региона, основанные на распределении доступной потенциальной энергии / А.Б. Бендик // Экологические рыбохозяйственные исследования в южной части Тихого океана: сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. - Калининград, 1991. - С. 86-92.
9. Бендик, А.Б. Океанологические предпосылки формирования промысловых скоплений ставриды ЮВТО / А.Б. Бендик // Тез. докл. IX Междунар. конф. по промысловой океанологии. - М.: ВНИРО, 1993. - С. 9-10.
10. Бендик, А.Б. Доступная потенциальная энергия вод, как абиотический показатель биологической продуктивности Юго-Восточной части Тихого океана / А.Б. Бендик // Тез. докл. IX Всероссийской конф. по проблемам рыбопромыслового прогнозирования. Мурманск, 1999. С. 27-29.
11. Бендик, А.Б. Принципы мониторинговой океанологической модели в южной части Тихого океана / А.Б. Бендик // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2000-2001 гг. Т. 1. Атлантический океан и Юго-Восточная часть Тихого океана: сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. - Калининград, 2002. - С. 20-26.
12. Чухлебов, Г.Е. Глава 9. Южная часть Тихого океана / Г.Е. Чухлебов, А.Б. Бендик // Промыслово-океанологические исследования в Атлантическом океане и южной части Тихого океана / под ред. В.Н. Яковлева. Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. - Калининград, 2002. - С. 171-195.
13. Бендик, А.Б. Взаимодействие океана и атмосферы южной части Тихого океана (0-50° ю.ш.) как абиотическая основа формирования биологической продуктивности / А.Б. Бендик, В.Н. Яковлев // Материалы XIII Междунар. конф. по промысловой океанологии. Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. - Калининград, 2005. - С. 38-42.

14. Бендик, А.Б. Возможный сценарий развития гидрометеорологических условий и биологической продуктивности в тропическо-субтропическом поясе Юго-Восточной части Тихого океана / А.Б. Бендик, В.Н. Яковлев // Вопросы промысловой океанологии. Выпуск 2. - М.: ВНИРО, 2005. - С. 172-188.
15. Бендик, А.Б. Качественная модель взаимодействия океана и атмосферы в юго-восточном секторе Тихого океана / А.Б. Бендик, В.Н. Яковлев // Вопросы промысловой океанологии. Выпуск 2. - М.: ВНИРО, 2005. - С. 152-171.
16. Бендик А.Б. Особенности режима атмосферной и океанической циркуляции и биологическая продуктивность тропиков-субтропиков (5-25° ю.ш.) Юго-Восточной части Тихого океана / А.Б. Бендик, В.Н. Яковлев // Материалы XIII Междунар. конф. по промысловой океанологии. Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. - Калининград, 2005. - С. 42-46.
17. Яковлев, В.Н. Атмосферно-океанические взаимодействия в Юго-Восточной части Тихого океана / В.Н. Яковлев, А.Б. Бендик // М.: Рыбное хозяйство, 2005.

Заказ 724  
Объем 1,3 п.л.

Полп. в печать 07.12.06  
Тираж 100

Формат 60x84/16  
Бесплатно

236000, г. Калининград, АтлантНИРО, ул. Дм. Донского, 5, тел. 215645