

КАЧЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ В ЮГО-ВОСТОЧНОМ СЕКТОРЕ ТИХОГО ОКЕАНА

А.Б. Бендик, В.Н. Яковлев (АтлантНИРО, Калининград)

С учетом современных представлений разработана концептуальная модель - качественная концепция взаимодействия океана и атмосферы в юго-восточной части Тихого океана (ЮВТО). В модели две функциональные блок-схемы, демонстрирующие "поведение" океана и атмосферы как колебательную систему между экстремальными режимами высокой и низкой интенсивности. Компоненты блок-схем, включая в себя наиболее главные реально действующие процессы в океане и атмосфере ЮВТО, хотя и отражают функционирование системы региональной, но не противоречат планетарным особенностям взаимодействия в системе "океан-атмосфера". Показано, что с прекращением действия ведущих звеньев вращения антициклональной ячейки воздушных масс (ослабленный режим циркуляции) – юго-восточного пассата и высотной атмосферной циркуляции направлением от экватора к югу – в ЮВТО наступает самое благоприятное стечение природных условий, необходимых для развития начальной фазы явления Эль-Ниньо. Установлено, что этот важный природный феномен происходит только в периоды устойчивого и долговременного (более сезона) ослабленного режима функционирования системы "океан-атмосфера".

Научный интерес к южной части Тихого океана (ЮЧТО) предопределен уникальными природными особенностями взаимодействия атмосферы и океана, вызывающими время от времени аномально-катастрофические явления на юго-востоке океана (Эль-Ниньо). Одновременно научно-практический интерес вызван необходимыми поисками закономерностей влияния абиотических факторов на биологическую (промысловую) продуктивность.

Однако приходится признать, что до настоящего времени нет комплексного представления о взаимозависимом функционировании океана и атмосферы ЮЧТО, как системы. Причем мы говорим о такой многокомпонентной системе, которая бы учитывала экологические пространственно-временные особенности и последствия возможных природных сценариев развития процессов и явлений в океанической и воздушной средах.

Многочисленные, но эпизодические, неравномерные во времени и пространстве экспедиционные исследования, как правило, затрудняют корректное применение математических, в том числе, вероятностных и, особенно, прогностических методов. С учетом современных представлений, мы задались целью предложить свою качественную концепцию - модель взаимодействия океана и атмосферы ЮЧТО, отражающую как региональные вариации функционирования механизма такого взаимодействия, так и общие планетарные (Багно, Залесный, 1999; Бендик, 2002; Ван Мигем, 1977; Володин, 2002; Масленников, 2003; Перри, Уокер, 1979; Петросянц, Гущина, 1998; Bjerknes, 1969; Dewitte, Perigaud, 1996; Delcroix, Picaut, Eldin, 1991; Rasmusson, Wallace, 1983; Rossby et al,

1939; Shukla, 1998; Tucker, 1959; Wyrтки, 1981; Zebiak, Cane, 1987; Zeng, Neelin, Chou, 2000). В качестве базисной теории нами использовался классический подход Бьеркнеса-Виртки к проблеме “Эль-Ниньо – Южное колебание”. Особо подчеркнем, что мы не отталкивались от факта уже существующего феномена Эль-Ниньо, с определенной квазипериодичностью проявляющегося в юго-восточном секторе Тихого океана, как это чаще всего делают многие авторы, но пытались шаг за шагом строить – логически моделировать последовательность качественного развития процессов в океане и атмосфере. Нами предпринята попытка показать, при каких обстоятельствах может возникать (или отсутствовать) это природное явление, исходя из убеждения, что процессы наиболее четко проявляются в двух состояниях – усиленном и ослабленном режимах циркуляции. Таким образом, в модели предполагаются две функциональные блок-схемы, демонстрирующие два противоположных состояния системы “океан-атмосфера”.

В качестве исходных материалов послужили данные океанологических, гидробиологических и гидроакустических съемок. Выполнялись они в научно-исследовательских и научно-поисковых рейсах на специализированных судах рыбной отрасли в период активной работы в ЮЧТО большой группы отечественного рыбопромыслового флота (1978-1991 гг.). Уделено внимание и более ранним годам эпизодических морских исследований, а также материалам последней по времени экспедиции 2002-2003 гг.

Непосредственно для работы над статьей использовались материалы, полученные в экспедициях: “Лира” (СССР, XII 1965 – I 1966, 89 ст.); “Профессор Месяцев” (СССР, VII – XI 1972, 70 ст.); “Академик Книпович” (СССР, VII – XI 1980, 167 ст.); “Одиссей” и “Профессор Месяцев” (СССР, XI 1981 – I 1982, 70 ст.); “Монокристалл” (СССР, VI – VII 1982, 92 ст.); “Профессор Месяцев” (СССР, XI – XII 1983, 69 ст.); “Новочебоксарск” и др. (СССР, XII 1985, 122 ст.); “Высота” (СССР, XI – XII 1986, 87 ст.); “АтлантНИРО” (СССР, VIII – IX 1991, 92 ст.); “Атлантида” (Россия, IX 2002 – I 2003, 207 ст.).

Полагаем, что наиболее универсальной качественной и количественной характеристикой, определяющей общее состояние системы “океан-атмосфера” и позволяющей дать экспертную оценку продуктивности океанических вод, представляется энергия (Бендик, Цыганов, Чур, Яковлев, 1985; Ван Мигем, 1977; Перри, Уокер, 1979; Malkus, 1958). На основе многолетних собственных исследований и с учетом литературной изученности считаем (Бендик, 1991; Бендик, Цыганов, Чур, Яковлев, 1985 и др.), что для открытых вод океана (за исключением экваториальных и полярных областей) таким универсальным энергетическим показателем является доступная потенциальная энергия (ДПЭ). А энергетика атмосферы, как известно, тесно связана с полями скорости и температуры, как самих воздушных масс в атмосферных системах движения (глобальные

ветры), так и с полями скорости и температуры подстилающей поверхности (океанические течения). В данном аспекте нами используются, в основном, литературные источники (Ван Мигем, 1977; Глазунов, Дымников, 2002; Колесникова, Монин, 1966; Петросянц, Гущина, 1998; Bjerknes, 1969 и др.).

Бьеркнес и Виртки, справедливо рассуждая о взаимозависимой роли океана и атмосферы, рассматривали замкнутую циркуляционную ячейку Уолкера, действующую вдоль экватора исключительно в масштабах всего океана и тесно связанную с Южным Колебанием (ЮК), юго-восточным пассатом и изменчивостью температуры поверхности океана (Bjerknes, 1969; Wyrтки, 1981). В своей концепции они исходили из необходимости максимального пространственно-временного укрупнения компонентов, действующих в системе “океан-атмосфера”, принимая во внимание только крупномасштабное взаимодействие, по сути определяющее климатическую изменчивость. Сосредоточившись на экваториально-тропическом районе, Бьеркнес и Виртки были первыми, обнаружив здесь оригинальный конвейер обмена теплом и холодом в атмосфере (циркуляция Уолкера) и в океане (волна Кельвина), и, тем самым, дали свое объяснение феномена Эль-Ниньо. Упрощая свою модель, они, в основном, игнорировали процессы, действующие в субтропическом и умеренном климатических поясах. Мы же считаем, что крайне необходимо рассматривать именно региональную (помимо планетарной) систему циркуляции океана и атмосферы, играющую существенную роль, особенно в юго-восточном секторе Тихого океана. Поэтому полагаем, что без обязательного учета процессов в более высоких широтах южного полушария, чем экватор и тропики, невозможно осуществить всесторонний анализ и дать диагноз как региональных подсистем на востоке и западе, так, и общего состояния системы “океан-атмосфера” всей южной половины Тихого океана.

Чем же обуславливается формирование самостоятельно действующих региональных подсистем, в рамках которых природой обеспечивается взаимодействие океана и атмосферы в ЮЧТО, и какие последствия это может иметь для состояния всей системы “океан-атмосфера” в южном полушарии?

Юго-восточный пассат, поступающую в него от океана энергию водяного пара, переносит в сторону экватора, при этом скорость накопления энергии на два-три порядка больше, чем расход кинетической энергии большинства глобальных ветров и океанических течений (Palmen, Riehl, Vuorela, 1958). Диссипация накапливаемой пассатом энергии происходит в пределах приэкваториальной барической депрессии, а точнее – вдоль узкой полосы внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) непосредственно через циклонические вихревые системы мощной кучево-дождевой облачности, вертикальное развитие которой нередко выходит за пределы тропопаузы (более 11-13 км).

Башни таких облаков в качестве тепловых машин играют одновременно и роль насосов, закачивающих в тропическую атмосферу скрытую избыточную энергию водяных паров. Эта энергия после конденсации пара и высвобождения тепла, преобразуясь в потенциальную энергию, дает начало атмосферной циркуляции в направлении юга, но уже на больших высотах. Циркуляцию эту, которую мы называем тропосферной, не стоит путать с циркуляцией Уолкера в вертикальной плоскости вдоль экватора, поддерживающую, главным образом, зональную составляющую пассатной циркуляции.

Подчеркнем то существенное обстоятельство, что межширотное взаимодействие в атмосфере ЮЧТО может осуществляться только через самую обширную на планете Южно-Тихоокеанскую субтропическую область высокого давления – Южно-Тихоокеанский антициклон (ЮТА), эпизодическое деление которого на отдельные самостоятельные центры вполне объяснимо именно действием усиливающейся время от времени меридиональной циркуляции. Следовательно, высотное барическое поле определяет динамические условия эволюции области высокого атмосферного давления в субтропиках, тем самым непосредственно влияя на интенсивность, местоположение и площадь основных гребней (частей) ЮТА. Подтверждением может служить и пространственно-временное состояние ВЗК, участки разрывов которой вблизи экватора представляют собой, ни что иное, как тропические приэкваториальные части ячеек меридиональной тропосферной циркуляции. Экспедиционные наблюдения, проводившиеся в районе, а также ежедневный анализ факсимильных карт приземного давления, транслируемых из Гидрометеоцентра России, тому свидетельствуют.

Таким образом, пространственно-временная трансформация положения и формы субтропической области высокого давления тесно связана с местом и временем активизации обмена воздушных масс между низкими и высокими широтами. Существует и соответствующее географическое перераспределение в экваториальной зоне вдоль ВЗК областей повышенной конвекции за счет отдачи в атмосферу избыточного тепла (Malkus, 1958). На наш взгляд, это тоже важно, поскольку невозможно бесконечно долго поддерживать исключительно только крупномасштабную (между восточными и западными окраинами Тихого океана) конвективную ячейку циркуляции Уолкера. Действительно, как показывает экспедиционный мониторинг, над ЮЧТО существует пространственно-временное разнообразие формы ЮТА (два, три, даже четыре центра) и времени локализации его гребней (от нескольких часов до нескольких суток). Следовательно, и циркуляция Уолкера, и основной стрежень юго-восточного пассата, должны соответствовать пространственно-временным масштабам локализованных гребней ЮТА.

Полагаем, что механизмом непосредственной передачи энергии и количества движения от тропиков к высоким широтам, скорее всего, должен быть процесс подстилающего атмосферного циклогенеза (по типу тропическо-субтропической циркуляции Гадлея), который функцию промежуточной передачи энергии воздушному потоку поддерживает за счет значительных температурных контрастов масс воздуха, формирующих фронтальные вихри-циклоны субтропической зоны (20-30° ю.ш.). О существовании механизма, связывающего высокоширотную область с другими климатическими зонами, о реальном межширотном воздухообмене, особенно в юго-восточной части Тихого океана (ЮВТО), свидетельствуют различные литературные источники, в том числе и (Масленников, 2003).

Итак, к югу от экватора в Тихом океане мы констатируем отдельные, эпизодически возникающие, антициклональные ячейки атмосферной, а значит и океанической циркуляции в составе общего Южно-Тихоокеанского антициклонального обращения воздушных и водных масс. Центрами таких самостоятельных ячеек являются временно изолированные части ЮТА. Предполагаем, 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 всегда существуют меридиональные разрывы, вызванные обособлением ячеек ЮТА. Мы считаем, что представление Бьеркнеса-Виртки о накоплении перегретых 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 ранжированием температурных аномалий на поверхности океана (АТПО). По результатам наших многолетних исследований ДПЭ и, в частности, ее пространственно-временного распределения в зависимости от складывающихся гидрометеорологических условий в тропиках, субтропиках и, частично, в умеренном поясе ЮВТО, именно региональные особенности формирования и развития температурных аномалий представляются важным звеном механизма замены одного устойчивого режима циркуляции другим. Обратим внимание, что в концепции Бьеркнеса-Виртки роль океанических аномалий значительно снижена, особенно, с точки зрения региональности их происхождения, развития и перераспределения.

Поэтому рассмотрим качественную модель взаимодействия атмосферы и океана отдельно для усиленного и для ослабленного режима их циркуляции в юго-восточном секторе Тихого океана. Из наиболее очевидных метеорологических и океанологических

процессов (показателей, компонент), демонстрирующих тесное взаимодействие атмосферы и океана в ЮВТО, выделим следующие.

В атмосфере: 1. субтропическую область высокого атмосферного давления – Южно-Тихоокеанский антициклон (ЮТА); 2. внутритропическую зону конвергенции (ВЗК); 3. меридиональную тропосферную циркуляцию; 4. циркуляцию Уолкера; 5. циркуляцию Гадлея; 6. юго-восточный пассат; 7. циклогенез 40-50-х широт; 8. западно-восточный перенос.

В океане: 1. “холодный-теплый экватор” (присутствие-отсутствие экваториального апвеллинга); 2. экваториальную систему течений и противотечений (Южное Экваториальное, Межпассатное - Кромвелла); 3. перуанскую систему течений и противотечений (Перуанское – Гумбольдта, Перуано-Чилийское - Гюнтера); 4. Южно-Тихоокеанское течение; 5. апвеллинг и вихри перуанской системы течений и противотечений; 6. меандры Перуанского течения; 7. меандры Южно-Тихоокеанского течения; 8. фронтогенез и вихри Южно-Тихоокеанского течения.

Период усиленного режима циркуляции (сезонный пик с июля по сентябрь - зима южного полушария).

В атмосфере формирование юго-восточной ячейки антициклонального вращения воздушных масс всегда взаимообусловлено пространственно-временной стабилизацией ЮТА и ростом давления в его центре (20-30° ю.ш., 90-100° з.д.; 1025-1030 мб). Повышение давления в ЮТА и стационарирование центра связаны с особенностями сезонного хода поступления в океан солнечной радиации, отражая максимум прогрева субтропических акваторий, т.е. именно там, где уже имеются наиболее теплые на планете океанические воды. Взаимодействуя с барической депрессией, расположенной над побережьем центрального Чили, юго-восточный гребень ЮТА, способствует максимальному развитию юго-восточного пассата, что вызывает столь же максимальную дивергенцию ветрового поля. Накапливаемая в приэкваториальной барической ложбине за счет пассата энергия скрытого тепла приводит к усилению ВЗК. Долго такое накопление продолжаться не может, поэтому в сторону юга начинает действовать компенсационная тропосферная циркуляция – транспортировка теплого воздуха вдоль западной периферии ЮТА (примерно, вдоль 110-120° з.д.). В районе указанных долгот вблизи экватора формируется мощная кучево-дождевая облачность, здесь же всегда имеется разрыв траектории ВЗК, который свидетельствует о создании на востоке океана локальной, укороченной циркуляции Уолкера, действующей вдоль экватора. Активизируется обмен энергией и количеством движения между тропиками и субтропиками в циркуляционной ячейке Гадлея (20-30° ю.ш.), что, как правило, существенно обостряет более южный циклогенез (40-50° ю.ш.), а, как следствие, - интенсифицируется западно-восточный перенос.

В океане усиливаются система Перуанского течения и его дивергенция, а начинающийся процесс меандрирования течения вызывает ярко выраженные апвеллинговые явления с формированием запаса ДПЭ в океанических и прибрежных водах. При устойчивом умеренном до сильного юго-восточном пассате (8-12 м/с) в тропиках-субтропиках ЮВТО распределение ДПЭ осуществляется в полном соответствии с характером движений в перуанской системе течений. На поверхности океана отчетливо проявляется, хотя и мозаичная картина распределения АТПО (в среднем от -2.5 до $+1.5^{\circ}\text{C}$), но с преобладанием участков отрицательной АТПО. Холодные воды апвеллинга, увеличивая свою площадь, способствуют пассатной температурной инверсии, уплотнению низкой слоисто-кучевой облачности и, как следствие, сохранению отрицательных АТПО.

Приэкваториальный район испытывает активизацию южной струи холодного Экваториального течения, как естественного продолжения Перуанского океанического. Здесь четко выделяется ячеистая структура экваториального апвеллинга, когда на поверхности формируются цепочки холодных ядер АТПО с диапазоном значений от -1.5 до -2.5°C ("холодный экватор").

В умеренном поясе активизируются меандрирующие ветви Южно-Тихоокеанского течения, образуя вергентные зоны с очагами океанического апвеллинга, в которых также активно генерируется ДПЭ. Усиливающийся атмосферный циклогенез с преобладанием западной составляющей штормовых ветров, стимулируя общий западно-восточный водный перенос, одновременно препятствует сохранению пространственно-временной устойчивости меандров и вихрей, способствуя их сравнительно быстрому размыванию в верхнем слое океана. Обращает на себя внимание тот факт, что при усиленном режиме океанической циркуляции к югу от 35° ю.ш., если и происходит формирование самостоятельных микро- и мезомасштабных синоптических вихрей, то локализуемые в них запас и дефицит ДПЭ малы и не превышают, как правило, значений $\pm(0.5 - 1.0)$. Все это влечет за собой квазиперманентный процесс сравнительно быстрого обострения и столь же быстрого размывания существовавших ранее фронтальных зон локального характера в самом верхнем океаническом слое. Одновременно продолжается создание новых подобных зон на участках сходимости водных масс различного происхождения, главным образом, по южному и восточному периметрам атмосферной и океанической циркуляции. В крупном плане пространственно-временного осреднения южные участки с градиентами океанологических характеристик определенным образом выстраиваются, формируя в деятельном слое трансокеанский Субтропический фронт, траектория которого на поверхности океана фиксируется, примерно, между 33 и 37° ю.ш. и соответствует

нулевой эквипотенциальной линии (к югу от нее сосредоточен запас ДПЭ, а к северу - дефицит).

Все перечисленные события при функционировании системы “океан-атмосфера” ЮВТО в усиленном режиме мы представили в виде блок-схемы из шестнадцати компонент (показателей) - по восемь для океана и для атмосферы (рис.1).

Доминирующим механизмом, поддерживающим пространственно-временную стабильность усиленного режима взаимодействия океана и атмосферы, исходя из нашей модели, является четко работающая подсистема “Юго-восточный пассат – Перуанское течение” (сильный пассат – холодная вода), что предполагает усиленную циркуляцию всех без исключения ячеек (Уолкера, Гадлея, тропосферной). В модели же Бьеркнеса-Виртки атмосферной доминантой (или особенностью) служит только сильная циркуляция Уолкера. Но одновременно существует якобы ослабленная циркуляция Гадлея, которая, по их мнению, впоследствии должна способствовать ослаблению ЮТА вследствие незначительного обмена между тропиками и субтропиками (реакция океана при этом не рассматривается).

Тем не менее, в рамках, как нашей модели, так и в модели Бьеркнеса-Виртки при усиленном режиме функционирования системы “океан-атмосфера”, несмотря на разные доминирующие процессы в моделях, не происходит аномального развития событий (отсутствие явления Эль-Ниньо с сопутствующим максимально положительным индексом ЮК). Однако в предлагаемой нами модели, в отличие от модели Бьеркнеса-Виртки, имеется четко выделенная связь (подсистема) активно действующих процессов в атмосфере и океане, ответственных за усиленный режим циркуляции – сильный юго-восточный пассат и ярко выраженное Перуанское течение. Любые изменения в указанной подсистеме приведут к неустойчивой ситуации, а значит, необходим региональный мониторинг за конкретными компонентами подсистемы с соответствующим анализом, диагнозом и выходом на прогноз возможного сценария развития всей системы “океан-атмосфера”.

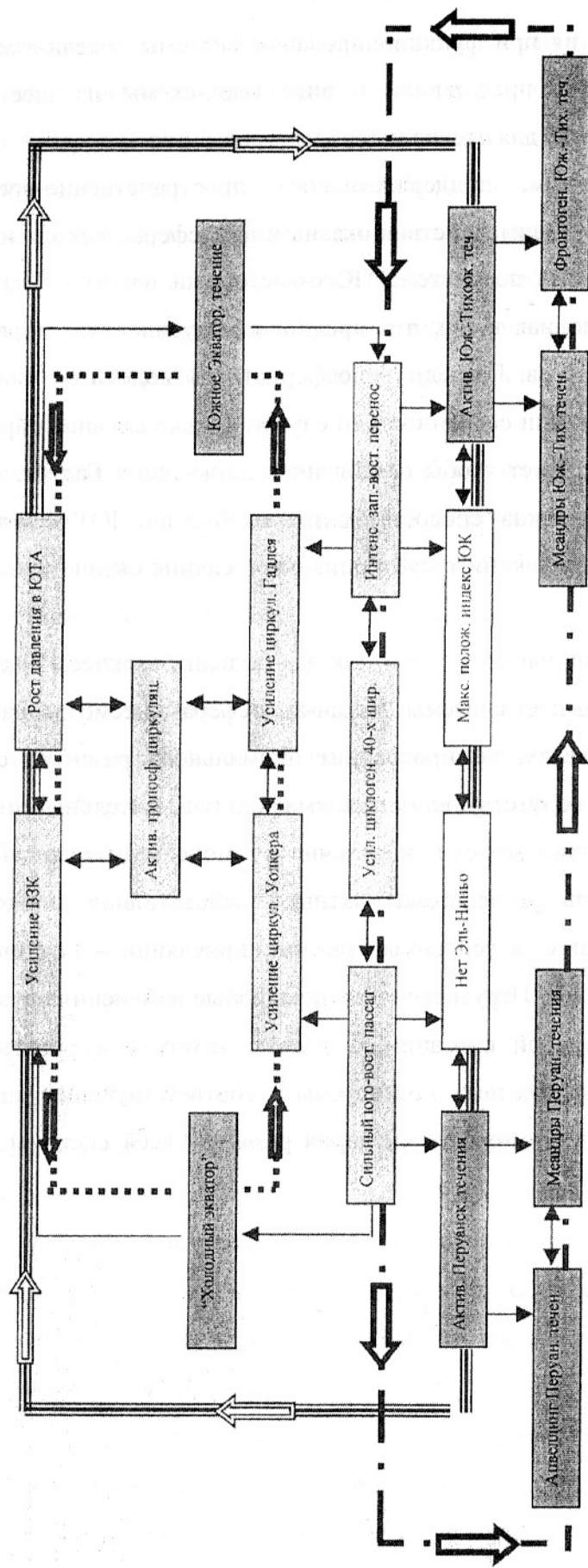


Рис. 1. Усиленный режим функционирования системы "океан-атмосфера" в южной части Тихого океана. Условные обозначения:

Атмосферные показатели (компоненты, блоки) – слабо затененные вытянутые по горизонтали прямоугольники. Океанические показатели – более затененные прямоугольники. Общая система – крупные белые стрелки на черной жирной линии, окаймленной с двух сторон тонкими линиями; ориентация стрелок – по часовой. Подсистема высотной циркуляции – мелкие черные стрелки на черной пунктирной линии; ориентация стрелок – против часовой. Подсистема приводной циркуляции – крупные черные стрелки на черной жирной полупунктирной линии; ориентация стрелок – против часовой. Подсистема комбинированная – ориентированные по часовой тонкие черные стрелки.

Период ослабленного режима циркуляции (сезонный пик с января по март – лето южного полушария).

В атмосфере периоды спада активности на юге Тихого океана характеризуются понижением атмосферного давления, как во всей области субтропического антициклона, так и в отдельных его центрах, видоизменением площади антициклона при ярко выраженной тенденции ее смещения к югу, вплоть до 40-х широт. Обращаем внимание на противоположную фазу сезонной цикличности поступления в океан солнечной радиации, когда ее минимум поступления в субтропические широты связан со смещением к югу участков теплых вод. Происходит ослабление юго-восточного пассата, что, в свою очередь, понижает энергетический потенциал приэкваториальной барической депрессии – заметно слабеют циркуляции Уолкера и Гадлея. По нашим наблюдениям и оценкам такое ослабление сопровождается гораздо более южным генеральным поворотом основного стрежня пассата на запад и имеющего уже существенно более короткую траекторию. Это способствует созданию севернее 20° ю.ш. обширного пространства с малоградиентным барическим полем и значениями приводного давления в пределах 1015-1020 мб, где практически отсутствует устойчивый юго-восточный перенос, а севернее в смежной приэкваториальной барической ложбине не происходит формирования традиционной структуры ВЗК. Следовательно, прекращают действовать ведущие звенья механизма вращения антициклональной ячейки воздушных масс – юго-восточный пассат и высотная тропосферная циркуляция направлением от экватора к южному полюсу (самое благоприятное, обязательное, хотя и не всегда достаточное стечение природных предпосылок для развития начальной фазы явления Эль-Ниньо). В умеренном климатическом поясе значительно снижается интенсивность циклогенеза, что одновременно свидетельствует об ослаблении западно-восточного воздушного потока, особенно, в приводной атмосфере.

В океане для тропическо-субтропического пояса главной особенностью циркуляции вод во время ослабленных атмосферных процессов представляются нарастающие амплитуды меандров и последующее их преобразование в синоптические вихри системы Перуанского течения. При слабом юго-восточном пассате (2-6 м/с) и неравномерном его воздействии на поверхность океана, включая прибрежные акватории тропиков-субтропиков, наблюдается формирование поля ДПЭ в согласии с вихревой структурой вод. Запас ДПЭ апвеллинга переходит в кинетическую энергию нарастающих меандров, а дефицит ДПЭ, возрастая, локализуется в антициклональных вихрях. Однако следует иметь в виду, что меандры могут преобразовываться в самостоятельные вихри-ринги синоптического типа, если временной интервал с низкой интенсивностью циркуляции атмосферы выйдет за рамки сезона. Тогда же получает развитие теплое

Перуано-Чилийское противотечение, формируя поля положительной АТПО (до +1.5 - +5.5°C). Если в сезон активизации противотечения и выходов его вод на поверхность океана происходит еще и прорыв течением Эль-Ниньо Экваториального фронта в районе к востоку от Галапагосских островов, то процессы переходят в фазу экстремально-катастрофического развития (явление Эль-Ниньо). За меньшие отрезки времени (менее сезона) может лишь в той или иной степени проявиться тенденция начинающегося природного явления (того же процесса меандрирования), его наметившейся пространственной ориентации, т.е. появляется реальная возможность рассматривать степень интенсивности аномального проявления теплых вод.

В районе экватора вместо Экваториального течения доминирующее влияние приобретает встречная южная подповерхностная струя теплого Межпассатного течения (течение Кромвелла), способствуя разрушению структуры экваториального апвеллинга ("теплый экватор"). Положительные значения АТПО здесь могут достигнуть +2.5 - +5.5°C. Считаем, возражая Бьеркнесу-Виртки, что именно преобладающие воды сезонно усиливающегося Межпассатного течения, но не волна Кельвина, есть основной фактор (причина) существенного потепления экваториальных акваторий, а динамический источник его самым тесным образом связан с региональными процессами в ЮВТО. Волна Кельвина – всего лишь последствие, завершающая стадия этих процессов и действует тем сильнее, чем масштабнее проявляются положительные АТПО ЮВТО.

На 30-40-х широтах с ослаблением циклонической активности отмечается пространственная неустойчивость и спад активности Южно-Тихоокеанского течения. Становится характерным постепенное "старение" и последующее преобразование наиболее крупных фронтальных меандров в огромные комбинированные круговороты, так называемых, "плотных упаковок" микро - и мезомасштабных вихрей. Причем величина локализованного в них запаса и дефицита ДПЭ имеет тенденцию быть заметно больше, чем в период активного режима циркуляции и может достигать $\pm(1.5 - 3.0)$ и более. Однако такие метаморфозы динамической структуры вод тоже требуют достаточно продолжительных временных интервалов, но в любом случае распределение ТПО соответствует среднегодовой норме, крайние пределы аномалий не превышают $\pm 0.5^\circ\text{C}$, что свидетельствует о сравнительно стабильном пространственно-временном состоянии Субтропического океанического фронта.

В блок-схеме ослабленного режима функционирования системы "океан-атмосфера" взаимодействие океанических и атмосферных процессов может быть также представлено конфигурацией из шестнадцати отдельных самостоятельных элементов (тоже по восемь в океане и атмосфере). Здесь сохраняются те же прямые и обратные связи, но они характеризуют совсем иную сбалансированность системы "океан-атмосфера" и ее

подсистем, насыщенных изменяющимися прежними или совсем другими природными компонентами (рис. 2).

Доминирующим механизмом, поддерживающим пространственно-временную стабильность ослабленного режима взаимодействия океана и атмосферы в нашей модели, является уже совсем другая четко работающая подсистема “Юго-восточный пассат – Перуано-Чилийское противотечение” (слабый пассат – теплая вода), что указывает на максимально ослабленные атмосферные ячейки циркуляции (Уолкера, Гадлея, тропосферная). В модели же Бьеркнеса-Виртки атмосферной доминантой (или особенностью) авторы снова выделяют циркуляцию Уолкера, но уже ослабленную. По мнению Бьеркнеса-Виртки одновременно усиливается циркуляция Гадлея, которая, согласно их версии, впоследствии должна способствовать росту давления ЮТА вследствие активизации обмена между тропиками и субтропиками (реакцию океана Бьеркнес-Виртки и в этом случае почти не рассматривают, констатируя лишь факт присутствия теплых вод вдоль экватора и у побережья Перу).

В нашей модели при ослабленном режиме функционирования системы “океан-атмосфера”, как, впрочем, и у Бьеркнеса-Виртки, всегда велика вероятность аномального развития событий (явление Эль-Ниньо с сопутствующим максимально отрицательным индексом ЮК). Отличие двух моделей состоит в том, что мы указываем важнейшее звено активно действующего механизма (подсистему) в атмосфере и океане – слабый юго-восточный пассат и ярко выраженное Перуано-Чилийское противотечение, поддерживающие ослабленный режим циркуляции. Дальнейшие преобразования этой подсистемы практически всегда предполагают сценарий аномального развития процессов, но различной интенсивности (Эль-Ниньо слабое, среднее, сильное).

Последующая динамика изменений подсистемы такова, что приводит к неустойчивой, переходной ситуации, когда внутри системы формируются и получают развитие другие доминирующие процессы и явления. Естественно, все это требует внимательного отслеживания, тем более что адресность мониторинга определена, а важность предвидения дальнейших событий в системе “океан-атмосфера” очевидна. Бьеркнес и Виртки не дают прямых указаний на работу каких-либо приоритетных звеньев или подсистем в океане и атмосфере, но априори утверждают лишь о связи слабеющего пассата с начальной фазой Эль-Ниньо.

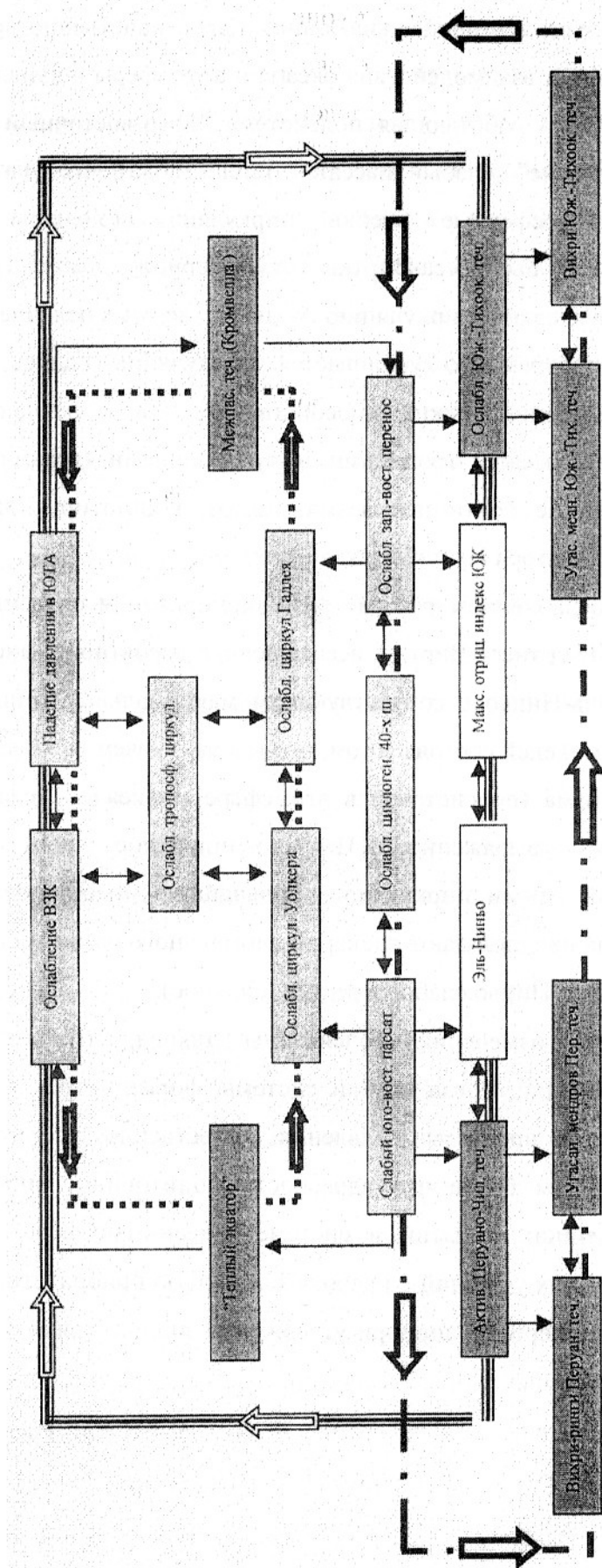


Рис. 2. Ослабленный режим функционирования системы "океан-атмосфера" в южной части Тихого океана.

Условные обозначения те же, что на рис. 1.

Разработанная нами модель описывает поведение океана и атмосферы как колебательную систему между экстремальными режимами высокой и низкой интенсивности. Режимы, по сути, представляют собой противоположные пространственно-временные состояния устойчивости, когда среднее состояние устанавливается редко, что впервые было отмечено Виртки (Wyrtki, 1981). Мы стремились к тому, чтобы в модели была заложена принципиальная возможность мониторинга (анализ и диагноз) 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 системой, она постоянно испытывает воздействия по всем пространственно-временным шкалам. Следовательно, существуют неустойчивые переходные состояния (фазы) системы, функционирование подсистем и компонентов которой дает представление о сценарии дальнейшего развития, т.е. в рамках модели можно и нужно получать определенную информацию.

Очевидно, что имеется межсезонная и межгодовая цикличность усиления или ослабления общих атмосферных и океанических процессов, которые мы вправе связывать, не в последнюю очередь, с особенностями теплоэнергетических условий распределения положительных и отрицательных аномалий радиационного баланса в системе “океан-атмосфера”.

Вполне уместно соотнести два устойчивых режима функционирования системы “океан-атмосфера” с состоянием биологической продуктивности, включая промысловую, исходя из предложенных в данной статье блок-схем. Для работы мы использовали расчеты и карты распределения ДПЭ, а также результаты деятельности рыболовного флота за период отечественного экспедиционного промысла в ЮЧТО, наряду с некоторыми биологическими (ихтиологическими) данными распределения южно-тихоокеанской ставриды (иллюстративный материал не приводится из-за экономии места).

Результат такого сопоставления биотических и абиотических показателей есть еще один весьма важный аргумент оценки исключительной роли взаимодействия океана и атмосферы. Причем такой результат может проявляться или непосредственно после прямого воздействия какого-либо компонента (показателя, блока, элемента) системы “океан-атмосфера”, или же, как результирующее следствие функционирования всех компонентов системы в целом.

Для тропического и субтропического пояса ЮВТО раздел между областями с запасом и дефицитом ДПЭ зимой располагается гораздо мористее, на расстояние до 300-400 миль в сравнении с летним его положением, будучи в согласии с особенностями усиленного и ослабленного режима океанической циркуляции. Это вполне соответствует сезонности промысла за пределами 200-мильной экономической зоны Перу, иллюстрируя благоприятные условия при существенном запасе ДПЭ океанических вод (июль-сентябрь) и неблагоприятные при дефиците ДПЭ (январь-март).

Для умеренного пояса ЮВТО, наоборот, характерна круглогодичная возможность поддержания высокой биологической продуктивности и, как следствие, эффективного промысла вне зависимости от режимов циркуляции. По-видимому, и дивергенция, и конвергенция, как главная особенность района Субтропического фронта, действуя и при режиме усиленной циркуляции и при ослабленной, более всего ответственны за интеграцию суммы благоприятных условий формирования здесь повышенной продуктивности. В качестве подтверждения этого обращаем внимание на процесс перераспределения ДПЭ через фронтальные синоптические вихри системы Южно-Тихоокеанского течения, непрекращающийся при любом режиме циркуляции. Тем не менее, нерестовый потенциал рыбных популяций, как наиболее уязвимый от внешних факторов физиологический акт, реализуется в южных широтах, сообразуясь, все же, с наиболее благоприятным сезонным сроком (ноябрь-март) в период ослабленного режима циркуляции (кстати, когда запас ДПЭ в три раза больше, чем при усиленном режиме).

Итак, в рамках представленной нами качественной модели взаимодействия океана и атмосферы становится более наглядным реальное формирование и развитие общих процессов в ЮВТО, связанных как с внутригодовой (сезонной), так и, возможно, с межгодовой изменчивостью.

Очевидно, что компоненты наших блок-схем, включая в себя наиболее главные реально действующие процессы в океане и атмосфере ЮВТО, отражают функционирование системы региональной, но не противоречат планетарным особенностям взаимодействия в общей системе “океан-атмосфера”.

Структурно-предметное содержание предложенных блок-схем учитывает разные природные ситуации и вполне адекватно может отражать возникающие в атмосфере и океане внешние и внутренние дестабилизирующие факторы. При этом можно судить о поведении системы “океан-атмосфера” ЮВТО в целом, а также оценивать состояние ее отдельных компонентов и подсистем, прежде всего, в двух крайних (противоположных) режимах устойчивости – усиленном и ослабленном, непосредственно для которых и создавались блок-схемы модели.

Из анализа синоптических карт приземного давления выяснилось, что показателем тесного взаимодействия океана и атмосферы в ЮВТО всегда выступает юго-восточный пассат, пространственно-временная устойчивость которого, сезонный ход, межгодовые отличия непосредственно зависят от степени развития, пространственного положения восточного центра ЮТА.

Межширотный обмен энергией в атмосфере осуществляется через механизм сброса скрытой энергии тепла от конденсации пара в местах разрывов ВЗК (приэкваториальная область). Обмен эпизодически-регулярный по мере накопления избыточного тепла, привносимого пассатом в район экваториальной ложбины, и не может быть осуществлен исключительно только на западной окраине южной Пацифики, но происходит вдоль западных периферий изолированных ячеек ЮТА.

Показано, что с прекращением действия ведущих звеньев вращения антициклональной ячейки воздушных масс (ослабленный режим циркуляции) – юго-восточного пассата и высотной атмосферной циркуляции направлением от экватора к югу – в ЮВТО наступает самое благоприятное стечение природных условий, необходимых для развития начальной фазы явления Эль-Ниньо. Установлено, что этот важный природный феномен происходит только в периоды устойчивого и долговременного (более сезона) ослабленного режима функционирования системы “океан-атмосфера”.

Наоборот, периоды явно устойчивой активизации атмосферных и океанических процессов (усиленный режим циркуляции) характеризуются пространственно-временной стабильностью положения восточного центра ЮТА и главных ветровых систем, а также ярким проявлением интенсивности всех основных дрейфовых течений в районе, как своеобразных гарантов внутригодовой цикличности процессов, их сезонности.

Как правило, циклогенез в тропиках-субтропиках взаимодействует (сливается) с циклогенезом умеренных широт, образуя единую область барической депрессии, пространственно ориентированную с севера, северо-запада на юг, юго-восток. В то же время неперенным условием активизации циклонической деятельности в тропиках-субтропиках или фактором, неизменно ей сопутствующим, является пространственно-временная неустойчивость атмосферной ВЗК, ее разрывной, пульсирующий характер, проявление вторичных форм.

Таким образом, изолированность антициклональных ячеек (в данном случае, в ЮВТО), усиление (ослабление) атмосферных и океанических процессов в них, но, особенно, устойчивая тенденция смещения ячеек в южном направлении несет в себе некую прогностическую информацию о последующем аномальном развитии процессов в общей системе “океан-атмосфера” на юге Тихого океана.

Изолированность не противоречит общему крупномасштабному (в масштабах полушарий Земли) развитию процессов в системе “океан-атмосфера”, а лишь реализует ее региональные элементы (подсистемы).

Из всего вышеизложенного следует, что основные природные механизмы и процессы, которые обеспечивают функционирование системы “океан-атмосфера” и ответственны за любой сценарий ее развития, включая все стадии явления Эль-Ниньо, находятся в регионе ЮВТО. Тем самым региональность этого явления вполне очевидна, а значит, имеется потенциальная возможность его мониторинга и предвидения.

В связи с этим на основе разработанной и представленной в данной статье модели дадим экспертное заключение нынешнего пространственно-временного состояния системы “океан-атмосфера” ЮВТО и предложим возможный сценарий качественного развития природных процессов в регионе до 2006-2010 гг.

Тенденция ослабленных процессов в океане и атмосфере, проявившаяся еще в 2002-2003 гг., скорее всего, будет продолжаться и в 2006 г., по крайней мере, в первой его половине, однако, потеряет свою четкую выраженность. Сохранится противоречивое развитие гидрометеорологических процессов, связанное с тенденцией вялотекущих событий, как в океане, так и в атмосфере ЮВТО, что уже наблюдается в 2005 г. Период затянувшегося режима ослабленной атмосферной и океанической циркуляции (2002-2005 гг.) начинает плавно переходить в фазу неустойчивости с тенденцией некоторого усиления циркуляции и небольшого роста давления в ЮТА. Однако предполагать долговременное сохранение такой тенденции нет оснований, хотя бы потому, что за пределами материкового склона в тропическом и субтропическом поясе ЮВТО за последние годы в поверхностном и подповерхностном слоях накоплен большой объем аномально теплых вод. Полагаем, что сезонного усиления режима циркуляции из-за обострения меридиональных гидрометеорологических параметров будет явно недостаточным, т.к. сохраняется заметная ослабленность системы Перуанского течения, особенно его океанических ветвей. Обострение в течение 2005 г. Экваториального океанического фронта связано, прежде всего, с паритетностью сосуществования в приэкваториальной зоне ЮВТО двух встречных водных переносов – Экваториального течения (продолжения Перуанского) и Межпассатного (течение Кромвелла). Такая сбалансированность крайне неустойчива все по той же причине ослабленного Перуанского течения. Следовательно, любая возможность дальнейшей активизации Перуано-Чилийского противотечения и течения Кромвелла может повлечь быстрый процесс вторжения аномально теплых вод, но уже тотального характера, подобного событиям 1982-1983, 1997-1998 гг. Считаем, что решающим фактором, который сможет вернуть ситуацию, аналогичную периоду 2003-2005 гг., будет очередное падение

давления в ЮТА и смещение его восточного центра в южном, юго-восточном направлении. Исходя из складывающихся гидрометеорологических условий, темпов их развития и с учетом отдаленной аналогии с событиями, предшествующими Эль-Ниньо 1997-1998 гг., подобное явление произойдет в период 2008-2010 гг.

Любопытна еще одна аналогия, но эколого-биологического свойства, связанная с неизменным в течение последних 15 лет присутствием вне пределов 200-мильной экономической зоны Эквадора, Перу и Чили большой популяции гигантского нерито-океанического кальмара-дозидикуса. Известно, что этот вид кальмара широко распространен в тропическом и субтропическом поясе, но более всего тяготеет к сравнительно узкой шельфовой полосе (50-150 миль), особенно в нерестовые сезоны. Однако уже достаточно продолжительное время внешние факторы среды в районе ЮВТО обеспечивают, по всей видимости, комфортные условия репродукции и нагула этого вида кальмара далеко от побережья.

На основании экспедиционных наблюдений 1989-1991 и 2002-2003 гг., проведенных исследований и анализа ретроспективных материалов, сделан следующий вывод.

Важнейшим внешним исключительно благоприятным фактором, обеспечившим устойчивое пространственно-временное присутствие кальмара-дозидикуса в водах открытого океана ЮВТО, представляется пространственно-временная устойчивость двух встречных водных переносов – широко меандрирующих, хотя и ослабленных, прибрежных и океанических ветвей холодного Перуанского течения (течение Гумбольдта) и теплого Перуано-Чилийского противотечения (течение Гюнтера). Особенностью этого режима океанической циркуляции является доминирующее, наиболее продолжительное и частое его проявление непосредственно перед температурными аномалиями, включая аномалии катастрофических масштабов (Эль-Ниньо). Но такой режим циркуляции, который сам по себе не является стабильным во времени и может в любой момент перейти в устойчивый режим ослабленных процессов с доминантой аномального тепла, очень часто и становится своеобразным предвестником прорыва Экваториального океанического фронта и тотального вторжения вод экваториально-тропического происхождения, но биотопически чуждых для кальмара-дозидикуса.

Литература

- Багно А.В., Залесный В.Б. Воспроизведение структуры гидрофизических полей тропической зоны Тихого океана в модели глобальной океанской циркуляции. Метеорология и гидрология, 1999, № 10, С. 75-78.
- Бендик А.Б. Океанологические предпосылки концентраций нерестовой ставриды в океанических водах Южно-Чилийского региона, основанные на распределении доступной потенциальной энергии // Экологические рыбохозяйственные

- исследования в южной части Тихого океана. Калининград: АтлантНИРО, 1991. С. 86-92.
- Бендик А.Б. Принципы мониторинговой океанологической модели в Южной части Тихого океана // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2000-2001 гг. Т. 1. Атлантический океан и Юго-Восточная часть Тихого океана. Калининград: АтлантНИРО, 2002. С. 20-26.
- Бендик А.Б., Цыганов В.Ф., Чур В.Н., Яковлев В.Н. Влияние гидрометеорологических факторов на формирование продуктивных зон Юго-Восточной части Тихого океана // Биологические основы промыслового освоения открытых районов океана. М.: Наука, 1985. С. 49-56.
- Ван Мигем Ж. Энергетика атмосферы. Перевод с англ. под ред. и предисловием Матвеева Л.Т. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 328 с.
- Володин Е.М. Численная модель совместной циркуляции глобальной атмосферы и тропиков Тихого океана. Изв. РАН. Физ. атм. и ок., 2002, т. 38, № 1, С. 5-19.
- Глазунов А.В., Дымников В.П. Воспроизведение отклика атмосферы на аномалии температуры поверхности океана в тропиках с помощью флуктуационно-диссипационного соотношения. Изв. РАН. Физ. атм. и океана, 2002. том 38, № 4, С. 437-449.
- Колесникова В.Н., Монин А.С. О междугодичной изменчивости метеорологических элементов // Изв. АН СССР. Физ. атм. и океана, 1966, том. 2, № 2, С. 113-120.
- Кузин В.И., Моисеев В.М. Отклик океана на атмосферные воздействия в период Эль-Ниньо. Метеорология и гидрология, 2002, № 7, С. 47-56.
- Масленников В.В. Климатические колебания и морская экосистема Антарктики. М.: Изд. ВНИРО, 2003. 295 с.
- Перри А.Х., Уокер Дж.М. Система океан-атмосфера. Пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1979, 196 с.
- Петросьянц М.А., Гущина Д.Ю. Крупномасштабное взаимодействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториальной части Тихого океана. Метеорология и гидрология, 1998, № 5, С. 5-24.
- Петросьянц М.А., Гущина Д.Ю. Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Метеорология и гидрология, 2002, № 8, С. 24-35.
- Филандер С.Дж., Расмуссон Е.М. Южная осцилляция Эль-Ниньо // В кн.: Динамика климата. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 205-223.
- Bjerknes J. Atmospherik teleconnections from the equatorial Pacific // Mon. Wea. Rev. 1969. V. 97. P. 163-172.
- Dewitte B., Perigaud G. El Nino-La Nina events simulated with Cane and Zebiak's model and observed with satellite or in situ data. P. II: Model forced with observations // J. Climate. 1996. V. 9. P. 1188-1207.
- Delcroix T., Picaut J., Eldin G. Equatorial Kelvin and Rossby waves evidenced in the Pacific Ocean through sea level and surface current anomalies // J. Geophys. Res. 1991. V. 96. P. 3249-3262.
- Malkus J.S. On the structure of the trade-wind moist layer. Papers Phys. Oceanog. Met. // Mass. Inst. Tech. and Woods. Hole Oceanog. Inst., 1958. 13, 47 pp.
- Palmen E., H.Riehl and L.A. Vuorela On the meridional circulation and release of kinetic energy in the tropics // J. Met., 1958. 15, P. 271-277.
- Rasmusson M.E. and Wallace J.M. Meteorological aspects of the El NINO/Southern Oscillation. – Science, 1983, vol. 222, pp. 1195-1202.
- Rossby C.-G. et al. Relations between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semipermanent centers of action. – J. Mar. Res., 1939, vol. 2, pp. 38-55.
- Shukla J. Seasonal predictions: ENSO and TOGA. – Proc. The Conf. On the World Climate Research Programme: Achievements, Benefits and Challenges. Geneva, 26-28 August 1997, June 1998, WMO/TD-No. 904.

- Tucker G.B. The mean meridional circulation in the atmosphere // Q. J. Roy. Met. Soc., 1959. 85, P. 209-224.
- Wyrski K. An estimate of equatorial upwelling in the Pacific // J. Phys. Oceanogr. 1981. V. 11. P. 1205-1214.
- Wyrski K. The Southern Oscillation, Ocean-Atmosphere Interaction and El Nino // A lecture presented by University of Miami. November 10, 1981.
- Zebiak S.E., Cane M.A. A model El Nino-Southern Oscillation // Mon. Weather Rev. 1987. V. 115. P. 2262-2278.
- Zeng N., Neelin J.D., Chou C. The first quasi-equilibrium tropical circulation model – implementation and simulation // J. Atmos. Sci. 2000. In press.