

## **Возможный сценарий развития гидрометеорологических условий и биологической продуктивности в тропическо-субтропическом поясе юго-восточной части Тихого океана (ЮВТО)**

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

Выделены четыре наиболее характерные гидрометеорологические ситуации, две из которых устойчивы, а две неустойчивы в различных пространственно-временных масштабах (от сезона до нескольких лет). Определены две оригинальные природные 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 выше подсистем в рамках принципиальной блок-схемы взаимодействия океана и атмосферы тропиков - субтропиков порождает спектр автоколебаний в общей системе "океан-атмосфера" ЮВТО, как внутригодового (сезонного), так и межгодового (долгопериодного) 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 Южного колебания можно оценивать как предтечу явления Эль-Ниньо. Утверждается, что для формирования высокой биопродуктивности и ведения эффективного (рентабельного) 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.

За последние 30-40 лет большой вклад в изучение юго-восточной части Тихого океана (ЮВТО) внесли отечественные ученые (СССР – России), одними из важнейших научных приоритетов которых, начиная с 70-х годов, представлялись здесь задачи промысловой океанологии.

ЮВТО, как известно, находится в ряду наиболее продуктивных в биологическом отношении районов Мирового океана. Международная статистика в последней четверти прошедшего столетия неизменно фиксировала за ЮВТО одно из лидирующих мест по среднегодовому вылову рыбы и беспозвоночных объектов промысла. Высокий потенциал биопродуктивности района необычен еще и тем, что не только прибрежные, шельфовые его области богаты рыбой, но и обширные пространства вне экономических рыболовных зон изобилуют популяциями, прежде всего, ставриды, скумбрии, анчоуса, сардинопса – особо массовых промысловых видов.

Усилия океанологов были направлены на разработку и совершенствование гидрометеорологического мониторинга как важнейшей составной части общего научно-поискового и промыслового мониторинга в ЮВТО. В район было организовано более 100 исследовательских и поисковых экспедиций, выполнены многие десятки специализированных съемок, около 6000 тысяч глубоководных океанологических станций. Информационной основой мониторинга в начальный период исследований был,

прежде всего, анализ всевозможных синоптических карт, а также карт температуры воды на поверхности океана, получаемых непосредственно в море. В дальнейшем для понимания физической сути океанических процессов, по мере реальной возможности, осуществлялся анализ гидрофизических, гидрохимических и биологических параметров на разных горизонтах наблюдений (температура, соленость, плотность воды, биогенные элементы, теплосодержание, геострофическая циркуляция, планктон, продукты нереста промысловой ихтиофауны и др.).

Хотя все эти материалы были получены сравнительно давно, представляется, что научный потенциал их еще далеко не счерпан. Поэтому мы сочли возможным вновь обратиться к ним с целью систематизации ранее наблюдаемых разрозненных фактов и предположений, обобщения и анализа основных процессов, действующих в океане и атмосфере ЮВТО. Естественно, что при этом, как сопутствующая, ставилась задача общей экспертной оценки влияния складывающихся абиотических условий на биологическую составляющую экосистемы района.

Нам известны результаты исследования и расчетов пространственно-временной структуры различных гидрометеорологических индексов вероятностно-статистическими методами, а также корреляции разных сочетаний этих индексов. Однако строго и корректно распространить такие расчеты на биологические и промысловые показатели в районе ЮВТО пока не представляется возможным и даже целесообразным из-за эпизодичности их наличия. Необходимо найти репрезентативный (хотя бы приемлемый) подход к анализу сравнимости гидрометеорологических, биологических и промысловых характеристик. Данная статья содержит, главным образом, результаты наших исследований по выделению и анализу сезонности в течение года (и более) основных гидрометеорологических ситуаций (состояний океана и атмосферы) с использованием экспедиционных наблюдений и доступной литературы.

В статье под термином “биологическая (промысловая) продуктивность” мы подразумеваем такой показатель, как рентабельность работы большой группы отечественных промысловых судов вне 200-мильной экономической зоны в Перуанском (5-20° ю.ш.) и Северо-Чилийском (20-30° ю.ш.) подрайонах ЮВТО на сезонных скоплениях преднерестовой и нерестовой ставриды, скумбрии и сардинопса в период 1978-1991 гг. При этом полагаем, что промысловые концентрации рыбы должны быть обязательно обеспечены благоприятными абиотическими (условия среды обитания) и биотическими (кормовая база) факторами. Конкретным исходным материалом для этого анализа послужили данные морских экспедиций на следующих судах:

“Marchili” (Чили, II-III 1960, 116 ст.); “Step-I” (США, XI-XII 1960, 73 ст.); “Shoyo Maru” (Япония, XI-XII 1963, 56 ст.); “Ли́ра” (СССР, XII 1965-I 1966, 89 ст.); “Профессор

Месяцев” (СССР, VII-XI 1972, 70 ст.); “Ихтиандр” (СССР, VIII-IX 1980, 42 ст.); “Академик Книпович” (СССР, VII-XI 1980, 167 ст.); “Одиссей” и “Профессор Месяцев” (СССР, XI 1981-I 1982, 70 ст.); “Кальпер”, “Сократ”, “Александр Борисов” (СССР, X 1982, 39 ст.); “Створ” (СССР, XI-XII 1982, 33 ст.); “Квант” и “Створ” (СССР, VI-VIII 1982, 57 ст.); “Монокристалл” (СССР, VI-VII 1982, 92 ст.); “Блеск” (СССР, IV-V 1983, 79 ст.); “Профессор Месяцев” (СССР, X 1983, 100 ст.); “Блеск” (СССР, XII 1983-I 1984, 79 ст.); “Высота” (СССР, V 1986, 71 ст.); “Сократ”, “Бородинское поле”, “Александр Борисов”, “Титанит” (СССР, VIII 1986, 32 ст.) и др. Привлекались также данные учетных съемок планктона, икры и личинок ставриды, выполненных по программам ВНИРО и АтлантНИРО. Материалы предшествующих исследований (Ван Мигем Ж., 1977; Федоров, 1984; Цыганов, Бендик, 1984; Бендик, Цыганов, Чур, Яковлев, 1985; Цыганов, Бендик, 1986; Бендик, Рудометкина, 1988; Бендик, 1991; Романов, 1994; Бендик; Глазунов, Дымников; Кузин, Моисеев; Петросянц, Гущина, 2002 др.), позволили составить представление о ЮВТО как о едином природном комплексе, биологическая и промысловая продуктивность которого предопределена следующими особенностями:

- географическим положением огромной акватории, входящей в тропический, субтропический и умеренный климатические пояса;

- ярко выраженными системами течений и противотечений, а также обширным ветровым полем юго-восточного пассата, как составными элементами планетарного антициклонального вращения водных и воздушных масс в южной половине Тихого океана;

- наличием, как минимум, трех основных барических центров действия атмосферы, среди которых Южно-Тихоокеанский антициклон, соседствующий с экваториальной депрессией, и две области низкого давления: одна - над поясом 40-60-х широт, вторая - над акваторией между Австралией и Индонезийским архипелагом;

- рельефом и морфометрией океанического дна и берегов Южноамериканского континента (рис. 1).

Основные элементы физического механизма функционирования природного комплекса ЮВТО можно представить в следующем виде.

Гидрометеорологические процессы в океанических районах ЮВТО не только оказывают воздействие на формирование первичных звеньев биопродуктивности (все виды планктона), но и определяют конкретную промысловую обстановку в различных пространственно-временных масштабах (количество и плотность рыбных скоплений, их подвижность в вертикальной и горизонтальной плоскости и т.п.). В открытом океане это, прежде всего, характерные особенности трехмерной циркуляции океанических вод,

распределение в соответствии с ней гидрофизических и гидрохимических характеристик водных масс – важнейших факторов формирования продуктивности.

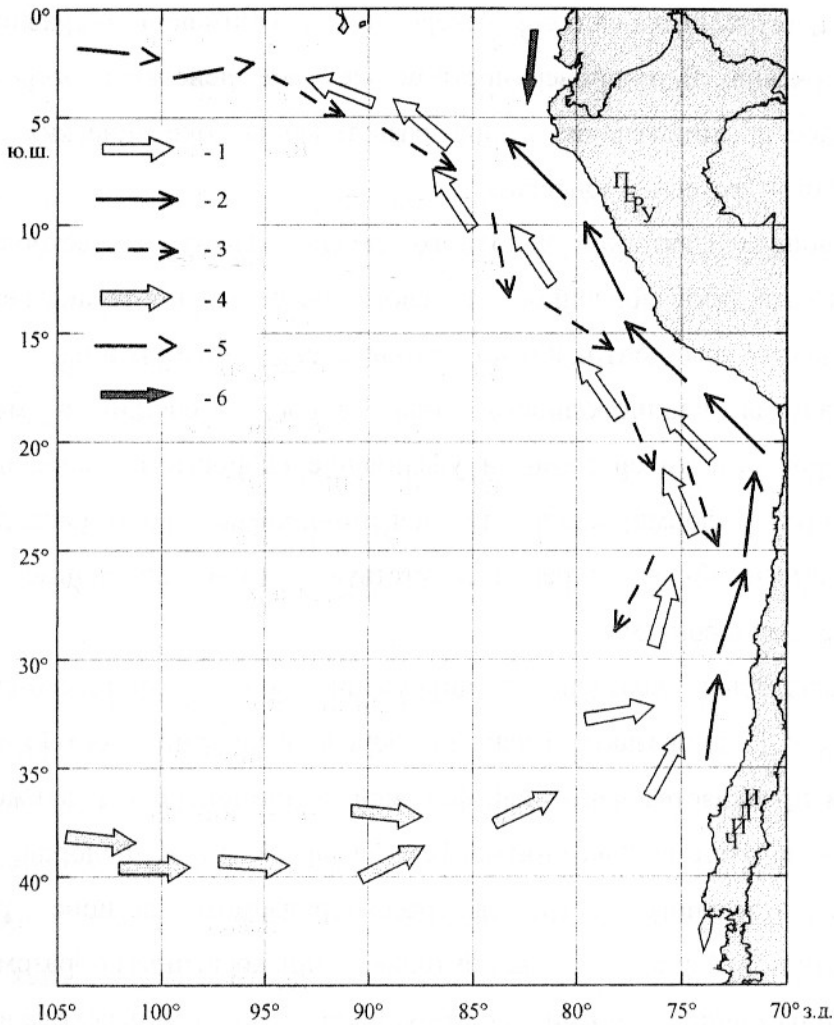


Рис. 1. Юго-Восточная часть Тихого океана. Основные течения и противотечения: 1 – Перуанское океаническое течение; 2 – Перуанское прибрежное течение; 3 – Перуано-Чилийское противотечение; 4 – Южно-Тихоокеанское течение; 5 – Межпассатное противотечение; 6 – течение Эль-Ниньо.

Наиболее чувствительные воздействия на все трофические уровни биологических сообществ производят межгодовые изменения гидрометеорологических процессов, особенно в тропическо-субтропическом поясе. Кульминационным проявлением долгопериодной, межгодовой изменчивости принято считать феномен Эль-Ниньо – нерегулярное вторжение anomalно теплых экваториально-тропических вод в пределы шельфа - материкового склона Эквадора и Перу, которое практически всегда оказывает негативное влияние на состояние всей экосистемы ЮВТО (обильные ливни на побережье и в предгорьях, штормовые условия в узкой прибрежной полосе, массовая гибель промысловых рыб, а также птиц не только у побережья, но и в открытом океане).

Ведущая роль в формировании океанологического режима в тропической, субтропической и, частично, умеренной зонах ЮВТО принадлежит прибрежным и океаническим ветвям холодного Перуанского течения (течение Гумбольдта), несущего свои воды с юга, юго-востока на север, северо-запад и занимающего сравнительно тонкий верхний слой океана. В подповерхностном же слое действует встречное Перуано-Чилийское теплое противотечение в виде разветвленных океанических струй, включая присклоновую ветвь (течение Гюнтера).

Возбуждающим фактором холодного течения выступает ветровое поле юго-восточного пассата, обусловленное, в свою очередь, пространственно-временной стабильностью восточного центра Южно-Тихоокеанского антициклона.

Горизонтальная неоднородность поля скорости течений в меридиональном направлении, процессы дивергенции и увеличение скорости по мере приближения к экватору приводят к формированию градиентно-вихревых волн (меандрированию) и генерации разномасштабных вихрей с сопутствующими им основными и вторичными гидродинамическими фронтами.

Крупномасштабные возмущения циркуляции вод в тропическо-субтропическом широтном поясе ЮВТО связаны, в первую очередь, с неустойчивостью юго-восточного пассата. В этом проявляется известный феномен нестационарности движения водных и воздушных масс в системе "океан-атмосфера" (Тареев, 1974; Федоров, 1984). Однако неустойчивость пассатного ветра в рассматриваемом регионе реализуется в нестационарности полей скорости течений только лишь косвенным образом.

Единственным видом энергии, доступным для свободного перехода в кинетическую энергию градиентно-вихревых волн – меандров основных струй течений, является доступная потенциальная энергия (ДПЭ) в системе бароклинно-неустойчивых потоков Чилийско-Перуанского комплекса (Вулис, Монин, 1975).

Дивергенция на западной периферии, как вдольбереговых, так и океанических струй Перуанского течения, стимулирует восходящее движение глубинных вод, при этом увеличивается наклон изопикнических поверхностей - начинает развиваться апвеллинг.

Если учесть, что по имеющимся сведениям ДПЭ более, чем на порядок превышает кинетическую энергию любого крупного течения, подобного Перуанскому, то вполне естественно использование нами этой энергетической характеристики не только для оценок элементов динамики вод. Возникла идея попробовать применить его в качестве абiotического показателя общей биологической продуктивности, тем более что пространственно-временное распределение ДПЭ сравнительно просто поддается количественной оценке.

Без учета уровня океана исходное аналитическое выражение для наших расчетов ДПЭ имеет вид (Козлов, Молчанова, Сергеева, 1979):

$$ДПЭ = -10^{-3} g \int_H^0 (\sigma_i - \sigma_{cp}) z dz,$$

где  $g$  - ускорение силы тяжести;  $\sigma_i, \sigma_{cp}$  - измеренная и осредненная условная плотность на горизонте  $z$ ;  $H$  - нижний горизонт наблюдений.

Условная плотность для стандартных горизонтов рассчитывалась от среднего ее вертикального профиля, полученного на каждой конкретной съемке. После процедуры преобразований окончательный вариант схемы расчета представлял собой метод по формуле трапеций. Послойное интегрирование осуществлялось с учетом всех стандартных горизонтов до горизонта 500 м, включительно, принятого в расчетах за оптимальную глубину верхнего динамически наиболее активного слоя океанических вод ЮВТО. Считаем, что до указанной глубины вполне надежно учитывается сезонная изменчивость термохалинной структуры, а также исключается сглаживающее влияние нижележащих слоев, где годовой ход гидрофизических параметров практически отсутствует. В традиционных расчетах горизонтальной геострофической циркуляции, выполненных динамическим методом (Зубов, Мамаев, 1956), за нулевую поверхность принят также горизонт 500 м (Мамаев, 1962), а приведение уровней в необходимых случаях производилось методом Гелланд-Гансена-Сомова (Сомов, 1937). Для удобного и более корректного сопоставления ДПЭ с картами распределения других биотических и абиотических характеристик (биомассой планктонных организмов, геострофическими течениями и др.) выполнено нормирование значений ДПЭ:

$$ДПЭ_{норм.} = \frac{(ДПЭ_i - ДПЭ_{cp})}{\sigma},$$

$$\text{где } \sigma = \sqrt{\sum \frac{(ДПЭ_i - ДПЭ_{cp})^2}{N}}, \text{ (N - количество океанологических станций).}$$

Выполненные расчеты ДПЭ, основанные на допущении линейной зависимости плотности воды от температуры - в одном случае, и от солёности - в другом, позволили оценить удельный вклад температуры (ДПЭ<sub>т</sub>) и солёности (ДПЭ<sub>с</sub>) в суммарный бюджет ДПЭ. Анализ показал, что основной вклад в бюджет вносит вертикальное распределение температуры. Так, для тропических вод открытого океана вне 200-мильной экономической зоны Перу, например, в зимний сезон 1982 г. коэффициент корреляции между ДПЭ и ее температурным аналогом (ДПЭ<sub>т</sub>) имел на порядок большее значение, чем между ДПЭ и ДПЭ<sub>с</sub> (0.74 против 0.01). Следовательно, адвекция тепла или холода течениями представляется доминирующим процессом при формировании бюджета ДПЭ.

Н. Барнет еще в 70-х годах прошлого века при анализе уравнений теплового баланса определил, что свыше 50% межгодовых колебаний температуры верхнего слоя океана в тропиках-субтропиках на юго-востоке Тихого океана приходится на адвективные факторы (Barnett, 1977). Из публикаций, подтверждающих этот факт и затрагивающих проблему формирования, развития, перемещения аномально теплых вод в экваториально-тропическом поясе Южной Пацифики, а также моделирование и попытки прогноза таких процессов, отметим (Глазунов, Дымников; Кузин, Моисеев; Петросянц, Гущина, 2002; Фомин, 2003).

Для разных сезонов и лет в тропических и субтропических водах Перуанского подрайона ЮВТО нами отслежен ряд особенностей в распределении бюджета ДПЭ, которые оказались теснейшим образом связаны, например, с распределением планктона – основной кормовой базой разновозрастных промысловых рыб. В результате представилась возможность дать следующее описание развития природных процессов в ЮВТО с учетом ДПЭ.

Океанологическую ситуацию, сложившуюся с ноября 1981 по январь 1982 гг. (“Одиссей” и ”Профессор Месяцев”), можно оценить как устойчивую, т.к. даже в период ослабления динамических процессов в весенне-летнее время сохранялись черты зимней океанической циркуляции, хотя с меандрами и вихрями, но без аномальных вторжений теплых вод, отличающихся существенным дефицитом ДПЭ. Пространственно-временной стабильности системы дрейфового Перуанского течения активно способствовал умеренный до сильного пассатный ветер, причем временной период в данном случае превысил сезон обычного внутригодового зимнего усиления циркуляции (май-август) за счет летних месяцев (ноябрь-январь), хотя и с тенденцией начала ее ослабления (здесь и далее по тексту в качестве примера рассматривается рис. 2).

Конфигурация нулевой изолинии ДПЭ с декабря 1965 по январь 1966 гг. (“Лири”) – раздел между областями запаса и дефицита ДПЭ к югу от  $10^{\circ}$  ю.ш. - идентична таковой в аналогичный сезон 1981-1982 гг. Но севернее указанной широты наблюдался явный прорыв Экваториального океанического фронта и вторжение на юг экваториально-тропических вод, обладающих существенным дефицитом ДПЭ. Эквипотенциальная линия со значением  $-1$  ДПЭ в точности идентифицировала южную границу проникновения аномально теплых вод ( $8^{\circ}$  ю.ш.), что совпадало по времени с активной фазой Эль-Ниньо 1965-1966 гг. Подтверждается это и схемой геострофической циркуляции на горизонте 200 м. В рассматриваемой ситуации уже сам факт прорыва Экваториального фронта указывает на развитие иных стабильных в пространстве и времени гидрометеорологических условий, когда на фоне ослабленной атмосферной циркуляции

ослабело также Перуанское течение, но явно активизировалось Перуано-Чилийское противотечение (Эль-Ниньо 1965-1966 гг. продолжалось около года).

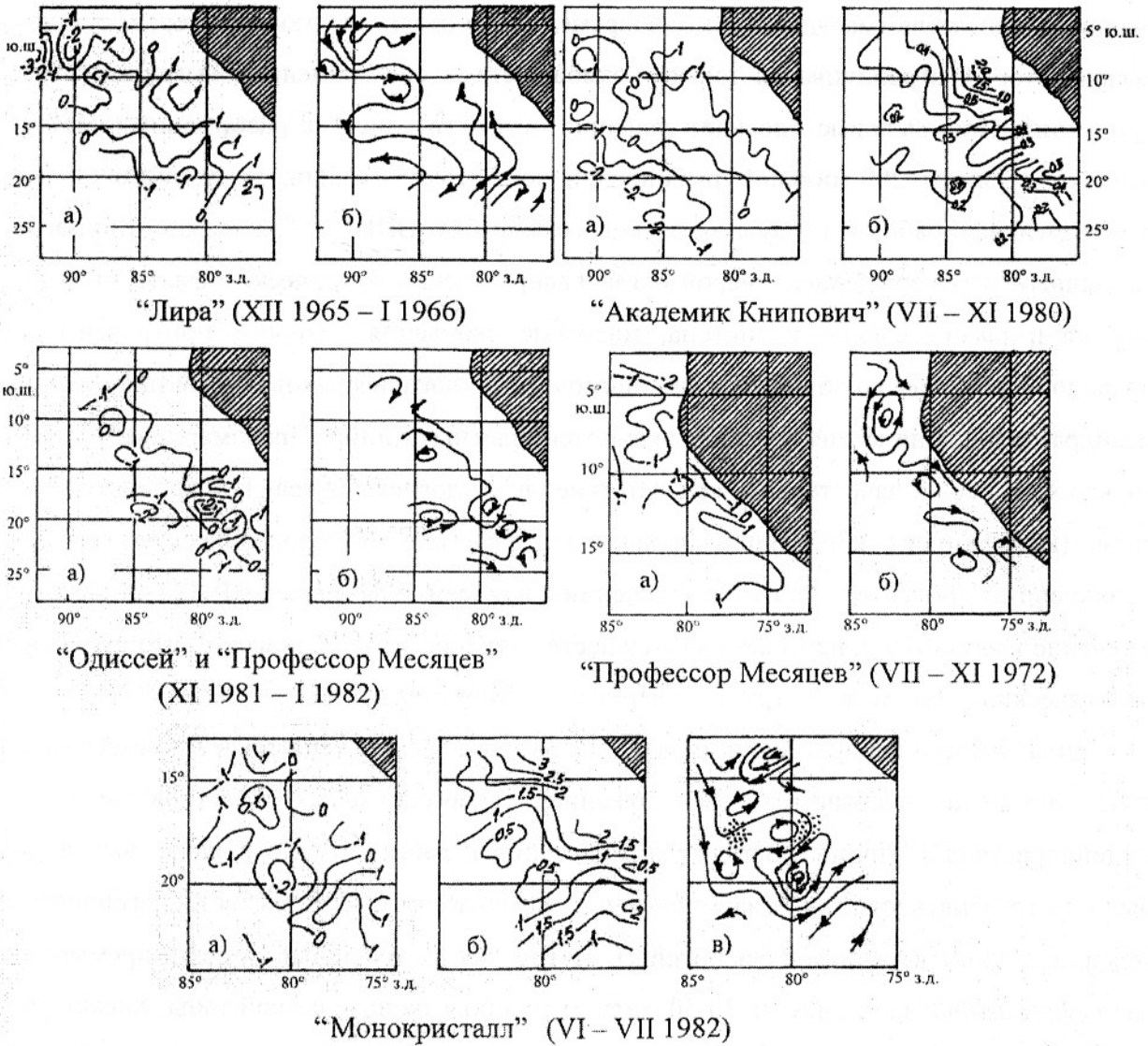


Рис. 2. Карты распределения абиотических и биотических параметров по данным экспедиций НИС:

- “Ли́ра” (XII 1965 – I 1966) – а) ДПЭ, б) геострофические течения (здесь и далее ДПЭ представлена в нормированных единицах; течения приведены для горизонта 200м, где наиболее четко проявляется подповерхностное противотечение, дискретность изолиний соответствует 20 дин. мм);
- “Академик Книпович” (VII-XI 1980) – а) ДПЭ, б) биомасса планктона в  $\text{см}^3/\text{м}^3$ ;
- “Одиссей” и “Профессор Месяцев” (XI 1981 – I 1982) – а) ДПЭ, б) геострофические течения;
- “Профессор Месяцев” (VII-XI 1972) – а) ДПЭ, б) геострофические течения;
- “Монокристалл” (VI-VII 1982) – а) ДПЭ, б) биомасса планктона в  $\text{см}^3/\text{м}^3$ , в) геострофические течения (точками обозначены массовые скопления икры и личинок ставриды).

В распределении ДПЭ зимой 1980 г. отчетливо отразились дивергенция и меандрирование океанических ветвей Перуанского течения (“Академик Книпович”).



Хорошая промысловая обстановка удерживалась здесь практически весь сезон с июля по декабрь, что в значительной степени было связано с очагами апвеллинга вдоль западных периферий дивергирующих потоков (максимальные значения ДПЭ от +1 и более). На сезонном промысле (май-декабрь) одновременно работали десятки траулеров, суточный вылов которых ограничивался только возможностями своевременной выгрузки готовой продукции. Промысловые операции успешно осуществлялись на расстоянии до 150-250 миль от границы 200-мильной рыболовной зоны Перу и Чили, чему способствовала результативная работа и научно-поискового корабля ВНИРО "Академик Книпович". Наглядным подтверждением тесной связи распределения биотических факторов с ДПЭ служит и распределение планктона, массовые скопления которого приурочены, как правило, к участкам со значительным запасом ДПЭ, локализованным в квазипостоянных меандрах с циклоническим изгибом эквипотенциальных линий. Правомерно отметить не только хорошее их качественное соответствие, но и удовлетворительную количественную связь (коэффициент корреляции около 0.5). Эту гидрометеорологическую ситуацию можно считать более устойчивой в сравнении с ноябрем 1981-январем 1982 г., поскольку в течение всего 1980 г. не отмечалось существенного ослабления пассата, что отразилось практически в безвихревой структуре верхнего слоя океана.

Для зимнего периода июня-июля 1982 г гораздо менее успешный промысел может быть объяснен необычным расположением энергоактивных участков в районе ("Монокристалл"). Промысловые суда, приступив к работе только в июле, вынуждены были часто менять участки лова в поисках лучшего ассортимента рыбы и благоприятных условий ее концентрации (скосячивания). Тем не менее, успешный поиск и промысел не распространялись далее, чем на 30-50 миль от границы экономической зоны. Характерной особенностью года представлялось повсеместное наличие в уловах значительной доли медузы. Вероятно, связано это с тем, что большая часть запаса ДПЭ перешла в кинетическую энергию крупного антициклонального вихря (значения дефицита ДПЭ от -1 на периферии вихря до -2 в его центре), который смог стать существенным препятствием океаническим ветвям Перуанского течения, несущим свои воды на северо-запад. Указанная преграда заметно осложнила и ослабила перераспределение запаса ДПЭ в том же направлении, нарушив обычно струйный характер ее распределения в соответствии со структурой течения, что подтверждается и схемой геострофической циркуляции. Дальнейшие события второй половины 1982 г. показали, что формирование вихревой структуры, отображенное полем ДПЭ, предшествовало наступлению крупнейшей природной аномалии тепла (Эль-Ниньо 1982-1983 г.) в тропических и субтропических водах ЮВТО, ранние сроки начала и последующие этапы развития

которого, кстати, не имели близких аналогов среди подобных явлений в прошлом. Любопытно и распределение биомассы планктона, которое указывает на тенденцию “выдавливания” его массовых скоплений на юг – юго-запад “наступающими” с севера и северо-востока малопродуктивными экваториально-тропическими водами. Качественное и удовлетворительное количественное (коэффициент корреляции не ниже 0.5) согласование полей ДПЭ и планктона – очевидно: максимальным значениям ДПЭ соответствуют высокие концентрации планктонных организмов, и, наоборот. Массовые скопления продуктов нереста ставриды (икра и личинки) тяготеют к градиентным участкам, образованным близко соседствующими вихрями, каждый со своим знаком вращения. Следовательно, ситуацию, сложившуюся зимой 1982 г., можно оценить как неустойчивую, поскольку формирующаяся вихревая структура вод указывает на заметное ослабление, по крайней мере, океанических ветвей Перуанского течения, находящихся в стадии активного меандрирования и вихреобразования.

Съемка, проведенная в июле-ноябре 1972 г. показательна тем, что была целенаправлена на изучение непосредственно вод шельфа и материкового склона Перу (“Профессор Месяцев”). Распределение ДПЭ в районе между 12 и 19° ю.ш. отражает меандрирование прибрежной и, частично, океанической ветвей Перуанского течения, обладающих запасом энергии. Севернее 12° ю.ш. дефицит ДПЭ вызван проявлением присклоновой струи Перуано-Чилийского противотечения (продолжение течения Гюнтера) в результате прорыва восточной окраины Экваториального фронта на фоне слабого пассата и подтверждается полем геострофической циркуляции. Изолиния -1 ДПЭ так же, как и в 1965-1966 гг., четко выделяет южный предел вторжения экваториально-тропических вод вдоль шельфа и склона (12° ю.ш.), что связано с развитием Эль-Ниньо 1972-1973 гг. Пространственно-временная устойчивость рассмотренной ситуации предопределена активностью подповерхностного противотечения, несущего свои воды вдоль шельфа и материкового склона Перу после прорыва Экваториального фронта собственно течением Эль-Ниньо.

Принимая во внимание вышеизложенное, можно предложить следующий возможный сценарий саморегулируемого развития гидрометеорологических условий в регионе, определяющих состояние системы “океан-атмосфера”, а, следовательно, продуктивности и промысла в тропическо-субтропическом поясе ЮВТО. Этот сценарий включает в себя четыре основные обобщенные гидрометеорологические ситуации, которые существенно различаются друг от друга, имеют свою последовательную “логику” развития и определенное чередование в соответствии с их нумерацией. Такое последовательное развитие приводит или к устойчивому и сравнительно долговременному существованию конкретной ситуации, или к ее полной замене,

коренному перелому событий в рассматриваемой природной системе “океан-атмосфера” (рис. 3).

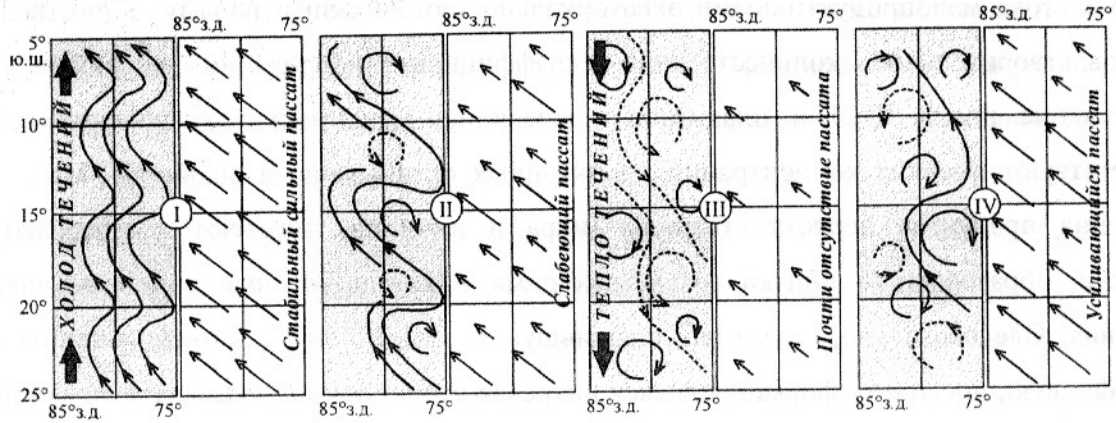


Рис. 3. Основные наиболее характерные ситуации (I, II, III и IV) саморегулируемого развития процессов в океане (левая затененная сторона) и атмосфере (правая сторона). Прямыми большими и малыми стрелками на правой стороне (атмосфера) показано ветровое поле юго-восточного пассата. Волнообразные непрерывные линии на левой стороне (океан) изображают меандрирующее Перуанское течение (прибрежное и океаническое); волнообразные пунктирные линии – Перуано-Чилийское противотечение. Полузамкнутые овальные линии со стрелками демонстрируют циклонические (сплошные линии) и антициклональные (пунктирные линии) вихри Перуанской системы течений. Широкими черными стрелками обозначен доминирующий водный перенос в устойчивых ситуациях I и III.

**Ситуация I.** Пространственно-временная зимняя (июль-сентябрь) устойчивость юго-восточного пассата от умеренного до сильного вызывает максимальную дивергенцию не только ветрового поля, но и дивергенцию скорости водных потоков в верхнем слое океана, обуславливая, тем самым, подъем пикноклина и вынос богатых биогенными солями глубинных вод, т.е. развивается мощный “плодородный” апвеллинг. Его ячейки формируются, как в узкой прибрежной полосе, так и в открытом океане, что имеет, как известно, самые благоприятные последствия для бурного развития биологической и промысловой продуктивности на огромной акватории, примерно, от 5 до 30° ю.ш. и от побережья в сторону открытого океана на расстояние до 300-400 миль. В подобной ситуации, как уже отмечалось, наблюдается хорошее совпадение распределения ДПЭ с полями геострофической циркуляции и согласованность с ней распределения биомассы планктона. Ситуация благоприятствует массовому сезонному нересту основных пелагических промысловых видов рыб – ставриды, скумбрии, сардины, анчоуса. Как правило, скопления нерестующей рыбы, равно как и планктона, тяготеют к зонам максимальных значений ДПЭ на участках с циклонической конфигурацией

эквипотенциальных линий. Холодные воды апвеллинга способствуют увеличению разности температуры воды и воздуха, “провоцируя” образование в атмосфере ЮВТО характерного инверсионного слоя, и, как следствие, - тумана и низкой слоисто-кучевой облачности. С одной стороны, такая ситуация ведет к усилению пассатной инверсии в приводной атмосфере, что еще более усиливает действие юго-восточного пассата, а с другой – уменьшается приток солнечной радиации для прогрева верхних слоев океана, т.е. поддерживаются условия сохранения отрицательных температурных аномалий.

Таким образом, возникает относительно стабильный с тенденцией к саморегулированию режим циркуляции в подсистеме “Юго-восточный пассат – Перуанское течение”. Следовательно, Ситуацию I можно считать наиболее устойчивой в названной подсистеме, когда существует значительный запас ДПЭ апвеллинга при больших наклонах изопикнических поверхностей положительно стратифицированных вод. Данная обстановка в наибольшей степени благоприятствует развитию биопродуктивности и успешному ведению промысла в условиях стабильного пассата и высокой интенсивности холодного Перуанского течения.

Однако есть основания полагать, что при достижении предельных пространственных масштабов апвеллинга порядка 150-200 миль в толще вод деятельного слоя океана создается критическая структура вертикального сдвига скорости, заметно усиливающая Перуано-Чилийское противотечение, что способствует его проявлению на поверхности океана в виде положительных температурных аномалий.

**Ситуация II.** Начальная фаза спада активности юго-восточного пассата, обычно связанная с сезонным весенне-летним (ноябрь-март) ослаблением Южно-Тихоокеанского антициклона и смещением его восточного центра к югу и юго-востоку, характерна переходом системы Перуанского течения в состояние, близкое к неустойчивому. В результате взаимодействия, возникающих в поле течений градиентно-вихревых волн с усредненным генеральным его движением, ДПЭ апвеллинга и энергия средней геострофической циркуляции переходят в кинетическую энергию волновых возмущений - меандров, амплитуда которых постоянно нарастает, что в то же время энергетически подпитывает Перуано-Чилийское противотечение. Эта ситуация в океане нередко может сохраняться сравнительно долго (вне рамок сезона) в условиях сбалансированности двух встречных переносов – прибрежной ветви холодного Перуанского течения и встречного потока теплых водных масс Перуано-Чилийского противотечения с выходами его к поверхности. Постепенно начинают формироваться локальные участки с положительной температурной аномалией приповерхностного слоя океана. В данном случае сохраняются еще вполне благоприятные условия, стимулирующие массовое присутствие в регионе косяков промысловой рыбы и кальмара, которые на практике обнаруживаются с помощью

специфических абиотических индикаторов (фронтальные зоны, периферии или центры меандров и вихрей и т.п.). В Ситуации II еще возможно продолжение успешного промысла тех или иных объектов. В соответствующие сезонные сроки в Перуанском подрайоне ЮВТО по-прежнему идет нерест основных промысловых рыб, следовательно, поддерживается естественный цикл пополнения изымаемых запасов. Однако эта вторая ситуация содержит в себе явные признаки потенциальной неустойчивости, что почти всегда чревато негативными последствиями для промысла. При продолжающемся ослаблении и неравномерности скорости юго-восточного пассата основным фактором, провоцирующим возникновение неустойчивости, следует считать расширение занимаемой площади и рост значений положительной температурной аномалии верхнего слоя океана за счет возрастающей активности противотечения. В тропических водах за пределами экономической зоны Перу к северу от 15-18° ю.ш. происходит заглубление пикноклина, часто наблюдается ярко выраженная вихревая структура деятельного слоя океана с преобладанием антициклональной формы вращения вод, в центре которой всегда заметен существенный дефицит ДПЭ и аномально повышенный фон температуры воды.

Таким образом, неустойчивость крупномасштабного Перуанского течения и избыток накопленной ранее ДПЭ апвеллинга в ситуации начавшегося ослабления юго-восточного пассата, приводят к формированию постоянно нарастающих меандров и вихрей в океанических водах тропического пояса ЮВТО. Одновременно происходит усиление Перуано-Чилийского противотечения за счет перехода ДПЭ апвеллинга в кинетическую энергию волновых возмущений. Следовательно, Ситуацию II можно охарактеризовать как фазу изменчивости в подсистеме “Юго-восточный пассат – Перуанское течение” в виде постепенного перехода от устойчивой Ситуации I к устойчивой Ситуации III. В этой переходной ситуации еще могут сохраняться вполне благоприятные условия развития биопродуктивности и промысла, однако, сама ситуация характерна крайней нестабильностью, резкими изменениями промысловой обстановки.

**Ситуация III.** Длительный период слабого юго-восточного переноса воздушных масс, вызванный аномально южным положением центра Южно-Тихоокеанского антициклона, отражается в поле океанских течений в виде уменьшения интенсивности вихреобразования. Обращает на себя внимание также тот факт, что воды Перуано-Чилийского противотечения, которые в этот период уже существенно преобладают над другими водными массами, отличаются весьма низкими значениями ДПЭ. В периоды активизации противотечения, выходов его вод на поверхность океана и одновременного прорыва течением Эль-Ниньо Экваториального фронта в районе к востоку от Галапагосских островов процесс перестройки термического и гидродинамического режима в регионе достигает экстремального развития и влечет за собой известные

катастрофические последствия. Такая ситуация развивается при обвальном (особый случай) падении барико-климатического индекса Южного колебания, свидетельствуя о сохраняющейся тенденции ослабления высокого атмосферного давления над ЮВТО. Складывающиеся условия более всего способствуют возникновению и развитию явления Эль-Ниньо, которое, как уже отмечалось, крайне угнетающе воздействует на биологическую составляющую экосистемы экваториально-тропической зоны ЮВТО. Продвижение еще далее к югу теплых вод Перуано-Чилийского противотечения с все более частыми выходами их к поверхности океана создает устойчивую во времени и пространстве положительную температурную аномалию уже в умеренном климатическом поясе – на 30-40-х широтах. Аномально теплая подстилающая поверхность океана явно способствует разрушению привычной структуры слоисто-кучевой облачности, что, в свою очередь, способствует увеличению прогрева верхних слоев океана. За счет этого еще более усиливается положительная аномалия температуры поверхности океана, препятствуя даже малейшей активизации пассатной атмосферной циркуляции.

Таким образом, сформировался переход к новой устойчивой и склонной к саморегуляции системе движений в воздушной и океанической средах в рамках уже иной природной подсистемы “Юго-восточный пассат – Перуано-Чилийское противотечение”. Следовательно, Ситуацию III можно определить как фазу наибольшей устойчивости режима циркуляции в названной новой подсистеме. Ее важная особенность заключается в том, что водные массы в этот период обладают минимальным запасом ДПЭ по сравнению с любыми другими ситуациями. Ситуация сопровождается распадом прежних очагов биопродуктивности при почти полном отсутствии пассата. На фоне интенсификации Перуано-Чилийского противотечения нередко происходит частичная замена традиционной ихтиофауны на другие виды гидробионтов, толерантные к обновленным условиям среды. В подобной ситуации привычный промысел ставриды, скумбрии и сардинопса в открытых водах океана чрезвычайно ограничен или отсутствует вовсе.

**Ситуация IV.** Увеличение площади и объема вод с положительной температурной аномалией в пределах умеренного пояса Чилийского подрайона ЮВТО создает предпосылки для значительной активизации здесь циклонической деятельности за счет возросших меридиональных контрастов гидрометеорологических параметров океана и атмосферы. На 40-х широтах постепенно растут повторяемость и скорость ветров южного, юго-западного и юго-восточного направлений. В свою очередь, планетарный антициклональный характер сопряженных переносов водных и воздушных масс в южной половине Тихого океана определяет усиление юго-восточного пассата сначала на 30-х, а затем и на более северных широтах. Этому также способствует восстановление формы и местоположения области высокого атмосферного давления, его рост. В

восстанавливающейся системе основных струй Перуанского течения на поверхности океана проявляются признаки переориентации ранее существовавших самостоятельных вихрей по направлению доминирующего воздушного переноса с помощью баротропной составляющей волновых возмущений по типу волн Россби. Динамическая структура вод, распределение запаса и дефицита ДПЭ, в целом, отражают ситуацию, отдаленно напоминающую начальную фазу ослабления пассата, с той лишь разницей, что тонкому слою вод восстанавливающегося Перуанского течения теперь необходимо преодолевать инерцию больших объемов аномально теплых водных масс. Поэтому далеко не всегда, особенно после интенсивного и длительного вторжения тропических вод в пределы 30-40-х широт, удастся проследить, как в течение одного зимнего сезона полностью восстанавливается первоначальная «климатологически средняя» картина циркуляции вод. После прекращения действия Эль-Ниньо, как правило, требуется два-три (иногда и более) года для того, чтобы за счет зимних усилений атмосферных и океанических процессов окончательно привести к «норме» циркуляцию водных масс Перуанской системы течений.

Очевидно, что Ситуация IV есть фаза наименьшей устойчивости режима предшествующей циркуляции (Ситуация III) в подсистеме «Юго-восточный пассат – Перуано-Чилийское противотечение», характеризующаяся постепенным переходом – заменой устойчивой Ситуации III на устойчивую Ситуацию I. В этот период в условиях возрастающей бароклинности (увеличиваются градиенты плотности вод) начинает усиленно генерироваться ДПЭ новых очагов прибрежного и океанического апвеллинга. Этот процесс сопровождается восстановлением биологической продуктивности, а также условий промысла, подобным тем, которые были в Ситуации I.

Итак, выделены и проанализированы две пары (I-IV и II-III) из четырех, наиболее отчетливо выраженных абиотических (гидрометеорологических) ситуаций (состояний океана и атмосферы), когда циркуляция вод тропического, субтропического и, частично, умеренного пояса ЮВТО саморегулируется, проявляя прямо противоположные черты по отношению к интенсивности юго-восточного пассата. Функционирование двух природных подсистем «Юго-восточный пассат – Перуанское течение» и «Юго-восточный пассат – Перуано-Чилийское противотечение» порождает спектр разных автоколебаний в системе «океан – атмосфера» (от сезона до нескольких лет). Естественную последовательность развития процессов в океане и атмосфере тропическо-субтропического пояса ЮВТО для наглядности можно представить в виде простой блок-схемы (рис. 4).

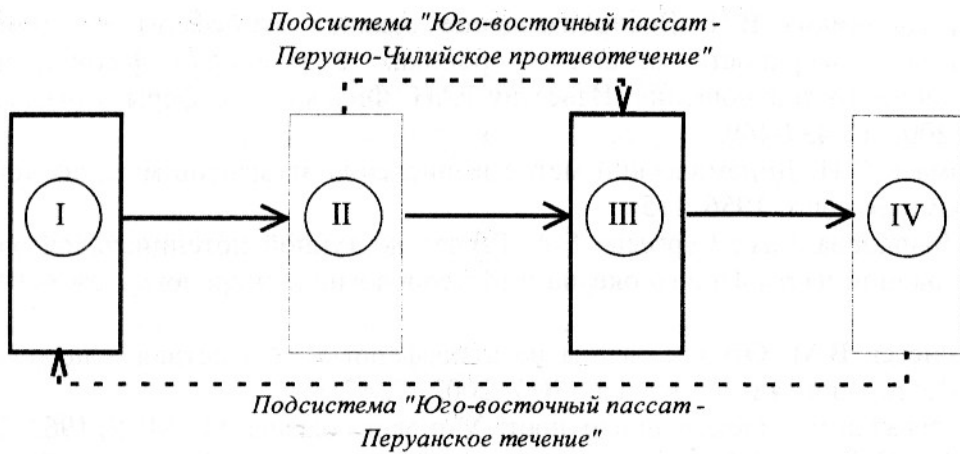


Рис. 4. Принципиальная блок-схема последовательной смены основных описанных гидрометеорологических ситуаций. Две пунктирные линии со стрелками, объединяющие блоки (ситуации), указывают на функционирование двух разных подсистем взаимодействия океана и атмосферы, каждая из которых включает в себя устойчивую ситуацию (более четкая окантовка) и неустойчивую (менее четкая окантовка).

Каждой из подсистем свойственна своя фаза (ситуация, период) наибольшей устойчивости. При этом для формирования биологической продуктивности и эффективного (рентабельного) промысла последствия, как правило, могут быть совершенно разные: в одном случае (стабильно сильный юго-восточный пассат) – благоприятные (устойчивая Ситуация I), в другом (слабый пассат) – не благоприятные (устойчивая Ситуация III).

### Литература

- 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. Природные особенности формирования промысловых скоплений рыбы в открытых водах Перуанского района зимой-весной 1989 г. и тенденция развития океанических процессов // Экологические рыбохозяйственные исследования в южной части Тихого океана. Калининград: АтлантНИРО, 1991. С. 81-86.
- Бендик А.Б., Рудометкина Г.П. Пространственная характеристика нереста перуанской ставриды (*Trachurus trachurus*) в связи с межгодовым распределением доступной потенциальной энергии открытых вод юго-восточной части Тихого океана // Промыслово-океанологические исследования в Атлантическом океане и юго-восточной части Тихого океана. Калининград: АтлантНИРО, 1988. С. 79-91.
- 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. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 327 с.
- Вулис И.Л., Монин А.С. О доступной потенциальной энергии океана // Докл. АН СССР, 1975. Т. 221. № 3. С. 597-600.



- Глазунов А.В., Дымников В.П. Воспроизведение отклика атмосферы на аномалии температуры поверхности океана в тропиках с помощью флюктуационно-диссипационного соотношения. Известия РАН. Физика атмосферы и океана. Том 38. № 4, 2002. С. 437-449.
- Зубов Н.Н., Мамаев О.И. Динамический метод вычисления элементов морских течений. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 115 с.
- Козлов В.Ф., Молчанова Л.А., Сергеева Е.А. Расчет доступной потенциальной энергии северо-западной части Тихого океана // Метеорология и гидрология. № 8, 1979. С. 63-67.
- Кузин В.И., Моисеев В.М. Отклик океана на атмосферные воздействия в период Эль-Ниньо. Метеорология и гидрология. № 7, 2002. С. 47-56.
- Мамаев О.И. Нулевая динамическая поверхность Мирового океана. М.: МГУ, 1962. 219с.
- Петросянц М.А., Гущина Д.Ю. Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Метеорология и гидрология. № 8, 2002. С. 24 -35.
- Романов Ю.А. Особенности атмосферной циркуляции в тропической зоне океанов. СПб.: Гидрометеиздат, 1994. 288 с.
- Сомов М.М. Вычисление скоростей течений динамическим методом между гидрологических станциями различной глубины. Метеорология и гидрология. № 8, 1937. С. 37-56.
- Тареев Б.А. Динамика бароклинных возмущений в океане. Изд. МГУ, 1974. 189 с.
- Федоров К.Н. Глобальные нарушения режима взаимодействия океан – атмосфера и Эль-Ниньо 1982-1983 годов. ИО АН СССР. Координационный центр стран-членов СЭВ. Информ. Бюлл. № 17, 1984. С.48-61.
- Фомин Л.М. О влиянии медленных вращений Земли на циклическую изменчивость климата. Океанология. Том 43. № 4, 2003. С. 485-494.
- Цыганов В.Ф., Бендик А.Б. Распределение доступной потенциальной энергии и особенности динамики вод Перуанского района // Океанологические факторы в промысловом прогнозировании. Калининград: АтлантНИРО, 1984. С. 66-74.
- Цыганов В.Ф., Бендик А.Б. Характерные черты взаимодействия океана и атмосферы тропической зоны Юго-Восточной части Тихого океана в годы Эль-Ниньо // Промыслово-океанологические исследования в Атлантическом океане и Юго-Восточной части Тихого океана. Калининград: АтлантНИРО, 1986. С. 38-45.
- Чухлебов Г.Е., Бендик А.Б. Глава 9. Южная часть Тихого океана // Промыслово-океанологические исследования в Атлантическом океане и южной части Тихого океана (по результатам исследований АтлантНИРО и Запрыбпромразведки). Калининград: АтлантНИРО, 2002. С. 171-195.
- Barnett N.P. An attempt to verify some theories of El-Nino. J. Phys. Okeanogr. Vol. 7. № 5, 1977. pp. 633-647.