

На правах рукописи

МАСЛЕННИКОВ
Вячеслав Вячеславович

КЛИМАТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И МОРСКАЯ ЭКОСИСТЕМА АНТАРКТИКИ

25.00.28 – океанология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора географических наук

*Дорогой Вячеслав Вячеславовичу
с благодарностью за
поддержку и помощь
в настоящее время
наших действий в требова-
ниях действии по
завершению работы.
2 июня 2004г. Александр*

МОСКВА
2004

Работа выполнена в лаборатории морской экологии ФГУП
«Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО)

Официальные оппоненты:

Доктор географических наук, профессор Смирнов Николай Павлович (Российский
государственный гидрометеорологический университет)

Доктор географических наук, профессор Фукс Виктор Робертович (Санкт-
Петербургский Государственный Университет)

Доктор биологических наук Кляшторин Леонид Борисович (Всероссийский научно-
исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии)

Ведущая организация:

Институт океанологии Российской Академии наук (ИО РАН)

Защита состоится 29 июня 2004 г. в 13.00 час
на заседании Диссертационного Совета Д 327.002.01 при Арктическом и
Антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) по адресу: 199397,
Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Арктического и
Антарктического научно-исследовательского института по адресу: Санкт-
Петербург, ул. Беринга, д. 38

Автореферат разослан _____ мая 2004 г.

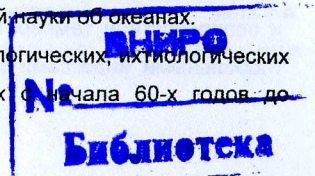
Ученый секретарь Специализированного Совета
кандидат географических наук Радионов Владимир Федорович
Тел. (812) 352-19-51.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Антарктика остается пока, пожалуй, наиболее "чистой" в экологическом отношении областью на нашей планете. Возможно, правильней будет сказать наименее "загрязненной", поскольку отрицательные черты антропогенного воздействия на природу отмечаются и здесь. Нужно заметить, что лишь в одном относительно небольшом районе, примыкающем с запада к Антарктическому п-ову, средняя годовая температура воздуха возросла на 2.5° за 50 лет. На остальном пространстве Антарктики с такими явлениями природа пока справляется. Относительно слабым потеплением характеризуются прибрежные районы Западной Антарктиды, отсутствием статистически значимых трендов районы Восточной Антарктиды, а наблюдения на части станций, расположенных в глубине материка, даже демонстрируют похолодание. Такая кажущаяся «непричастность», однако, обманчива. Антарктика – одно из главных звеньев планетарной тепловой машины, этому соответствует и ее вклад в формирование климата планеты. По-видимому, еще достаточно велик «запас прочности» этого природного «холодильника».

Пожалуй, наиболее тонким и точным показателем состояния бассейна может служить состояние популяций населяющих его гидробионтов, отражающее механизм воздействия на них постоянно изменяющихся условий среды. Причем наиболее чутко реагируют на эти изменения представители первых трофических уровней, прежде всего планктонное сообщество, в свою очередь, в значительной степени определяющее обилие и характер распределения рыб, пингвинов, ластоногих и китов. Исходя из этого, в свете современных колебаний климата важную научную, охранную и промысловую роль приобретает слежение за изменениями популяций разных видов животных Антарктики. Экосистемные исследования включают в себя оценку потоков энергии, проходящих через сообщества от низших до высших звеньев трофической цепи, выявление связи их колебаний на разных уровнях с климатическими колебаниями в атмосфере и океане и, наконец, создание качественных и численных моделей как всей экосистемы Антарктики, так и отдельных ее компонентов. Изучение морских экосистем Мирового океана – одно из главных направлений развития современной науки об океанах.

Огромный массив гидрологических, гидробиологических, ихтиологических данных, собранный в отечественных экспедициях с начала 60-х годов до



начала 90-х годов двадцатого столетия, требует своего обобщения. Советские исследования в Антарктике вывели тогда нашу рыбохозяйственную науку на место явного лидера. В настоящее время Россия, к сожалению, теряет эти завоеванные позиции. А нельзя забывать, что Антарктика является одним из главных энергетических звеньев в глобальном климатическом процессе и самым перспективным, но временно недоиспользуемым, поставщиком животного белка в будущей пищевой рацион численно возрастающего человечества.

Цель и задачи исследования. Цель работы: изучение пространственной и временной структуры колебаний в атмосфере, океане и биосфере Антарктики, их взаимосвязей в масштабах межгодовой и долгопериодной изменчивости.

Основные задачи:

1) Анализ пространственной структуры колебаний атмосферного давления на уровне моря и поверхностной температуры воды в Антарктике.

2) Анализ временной структуры колебаний давления на уровне моря и поверхностной температуры воды в Антарктике.

3) Анализ роли Эль-Ниньо (ЭН) - Южного Колебания (ЮК) и Антарктического Колебания (ААК) в антарктической экосистеме.

4) Выделение природных систем, каждая из которых характеризуется однонаправленными изменениями в атмосфере и океане, вызывающими соответствующую реакцию в биосфере.

5) Изучение особенностей распределения антарктического криля в разных пространственных масштабах в связи с распространением разных модификаций антарктических вод и положением фронтов.

6) Анализ связей распределения и воспроизводства антарктического криля с колебаниями давления, температуры воздуха и воды и распространения морского льда.

7) Анализ роли климатических колебаний в распределении китов и изменениях размера популяций некоторых видов пингвинов.

Предмет защиты. На защиту выносятся следующие основные разработки и положения, имеющие существенные признаки новизны: 1) впервые выявленная на основании кластерного анализа пространственная структура межгодовых и многолетних колебаний атмосферного давления на уровне моря и поверхностной температуры воды в Антарктике; 2) связь этих колебаний с глобальными индексами Южного Колебания – Эль-Ниньо и Антарктического

Колебания; 3) впервые выявленные климатические эпохи с противоположным по характеру режимом климатических колебаний в Антарктике; 4) впервые предлагаемое деление Антарктики (на основании анализа результатов, отмеченных в п. 1, 2 и 3) на природные системы и климатические области, характеризующиеся когерентным характером климатических колебаний;

5) пространственная структура гиперпопуляции антарктического криля в связи с распространением разных модификаций антарктических вод и положением фронтов;

6) новая концепция воздействия климатических колебаний на популяционные изменения в планктонном сообществе и на более высоких трофических уровнях в зависимости от их географической приуроченности к разным природным системам и климатическим областям.

Научная новизна. Впервые на основе кластерного анализа данных полей атмосферного давления и температуры воды проведено выделение крупных областей (кластеров), отличающихся единым характером климатических колебаний. Установлены типы дальних связей между ними в пределах Антарктики, а также между антарктическими кластерами и кластерами других климатических зон Южного полушария. Впервые выявлены особенности временной структуры колебаний атмосферного давления и температуры воды в разных областях Антарктики. Установлены сроки климатических режимных сдвигов (1963/64 и 1982/83 гг.) между периодами продолжительностью ≈ 19 лет, характеризующимися постепенным ростом (до очередного сдвига) летнего индекса ААК (и атмосферного давления в умеренных широтах) и понижением атмосферного давления на уровне моря в Антарктике. В ходе летнего индекса ЮК очевиден режимный сдвиг 1977/78 г., связанный с переходом к эпохе пониженных значений индекса. В ходе летнего индекса ААК можно заметить после 1977/78 г. явное превалирование его высоких значений, означающее переход от эпохи зонально-симметричного типа атмосферной циркуляции к эпохе зонально-волнового типа. Режимный сдвиг 1977/78 г. в поле поверхностной температуры воды проявляется в смене эпохи слабой межгодовой изменчивости летней температуры воды на эпоху высокой ее изменчивости. Высокая изменчивость температуры воды после 1977/78 г. связана с активными взаимовнедрениями контрастных масс воздуха. Установлено, что периоду после 1977/78 г. свойственно также увеличение

интенсивности Эль-Ниньо, прямо влияющей на степень прогрева и размер охваченной им акватории в тихоокеанском секторе.

Впервые проведено деление акватории антарктических вод на крупномасштабные природные системы, каждая из которых характеризуется единой направленностью процессов в атмосфере, океане и биосфере. Выявлены также шесть климатических областей, вносящих элемент нарушений в эти системы. Особенно это относится к периодам развития зонально-волнового типа циркуляции, характерного для современной климатической эпохи (эпохи «контрастов»).

Установлены связи климатических колебаний в Антарктике с глобальными колебаниями, показателями которых служат индексы ЭН-ЮК и ААК.

Установлены пути массового дрейфа и закономерности распределения массовых скоплений антарктического криля (основы его ареала) в связи с распространением вод высокоширотной модификации. Установлены участки формирования концентраций криля в пределах Вторичной фронтальной зоны Антарктики (ВФЗА).

Впервые предложена концепция воздействия климатических колебаний в атмосфере и океане на биологические показатели популяций некоторых видов животных Антарктики. Показано, что распределение ключевого звена основных трофических цепей высокоширотной биоты – антарктического криля (*Euphausia superba* Dana) и зависящих от него представителей более высоких трофических уровней (рыб, пингвинов, летающих птиц, тюленей и китов) в большой степени определяется сменой меридиональной направленности процессов в атмосфере и океане. Последние, в свою очередь, связаны с соответствующими крупномасштабными климатическими колебаниями, характеризуемыми индексами Южного Колебания, Антарктического Колебания и показателями Эль-Ниньо.

Обоснованность и достоверность результатов. Обширный массив данных, представляющих собой результат реанализа [Kalnay and Coauthors, 1996] и постоянно используемый в многочисленных исследованиях, был подвергнут критике в нескольких работах. Привлечение этих данных в нашем исследовании, с одной стороны, было вынужденно в силу относительно слабой освещенности ими ранних периодов и некоторых районов. С другой стороны, автор после анализа и сопоставления данных с материалами некоторых

конкретных съемок, а также в силу отсутствия противоречий в закономерных связях изменений этих показателей с глобальными индексами колебаний (ААК и ЮК) в разные периоды времени (при относительно слабой и при достаточно высокой обеспеченности данными) пришел к выводу о правомерности использования данного материала в исследовании. Большинство американских и британских коллег придерживаются того же мнения, широко используя эти данные.

Обоснованность полученных результатов подтверждается использованием известного хорошо проверенного метода кластерного анализа, благодаря применению программ и компьютеров, позволяющих обрабатывать большие объемы данных. Их достоверность подтверждается результатами многократных экспедиционных комплексных наблюдений с одновременным сбором данных по биологии и условиям среды, а также обращением к источникам биологических данных для разных временных периодов, характеризуемых разными климатическими условиями. Предлагаемая концепция (выделение природных систем и климатических областей в Антарктике и соответствующая реакция приуроченных к ним популяций животных на климатические колебания) характеризуется отсутствием противоречий, возможностью на ее основании описывать, а в некоторых случаях и предсказывать, характер развития некоторых популяций.

Практическая значимость работы. Значимость работы заключается в выявлении современного состояния экосистемы Антарктики. Установленные режимные особенности климатических колебаний, их пространственная неравномерность, а также примеры воздействия условий среды на распределение антарктического криля и на изменения размеров популяций большинства его потребителей в Антарктике могут быть взяты за основу при построении разного рода моделей существования как отдельных антарктических сообществ, так и всей экосистемы Антарктики в целом. Это одно из главных направлений развития современной науки о природе Земли.

Установленные типы пространственной и временной неравномерности климатических колебаний в Антарктике могут быть применены при прогностических разработках погодных условий и, особенно, характера зимнего распространения морского льда.

Промысел антарктического криля в настоящее время очень мал. Однако, велика вероятность в близком будущем увеличения его значения как массового

источника пищевого белка (особенно для близлежащих к Антарктике стран). Результаты работы позволяют определить величину допустимого изъятия криля, причем не только общую его цифру для всей суперпопуляции, но и, что более важно, для отдельных морей и районов его массовых концентраций. В этом важная практическая ценность работы в свете рационального использования сырьевых ресурсов Антарктики в рамках их сохранения и поддержания целостности экосистемы.

Хорошо выраженные элементы воздействия климатических колебаний на разных представителей макропланктона и его консументов в Антарктике на фоне относительно «чистых» экологических показателей, слабо затронутых антропогенным влиянием, могут служить своеобразным эталоном для подобных исследований в других регионах Мирового океана. Они также могут представлять несомненный интерес и с точки зрения учебного материала для соответствующих курсов океанологических и экологических отделений и кафедр в ВУЗ,ах страны.

Использованные данные. Основу данных по поверхностной температуре воды, температуре воздуха и атмосферному давлению на уровне моря составляет массив, полученный с сайта Центра диагностики климата (США) и представляющий собой результат реанализа данных по проекту NCEP – NCAR Reanalysis Project [Kalnay and Coauthors, 1996]. Кроме перечисленных гидрометеорологических показателей в работе привлекались также данные по геопотенциальной высоте поверхности 500 гПа, меридиональной и зональной компонентам приземного ветра. Из этого же источника были получены ряды разного типа климатических индексов, широко используемых в работе. К ним относятся индекс Южного Колебания (ЮК), индекс Антарктического Колебания (ААК) и показатели Эль-Ниньо на разных участках тихоокеанского экваториального пояса: ЭН 1.2; 3; 4; 3.4. Данные по положению кромки морского дрейфующего льда были взяты также из Интернета с австралийского сайта.

В работе также использован обширный материал, собранный в Антарктике в экспедициях ВНИРО, АтлантНИРО, АзЧерНИРО, ТИНРО, ААНИИ и ИОРАН. Автор принимал непосредственное участие в 17-ти антарктических экспедициях на НПС «Академик Книпович» (8 рейсов), НПС «Одиссей», РТМС «Возрождение» (2 рейса), НИС «Профессор Зубов», НИС «Профессор Визе», НЭС «Академик Федоров» (3 рейса), НИС «Академик Иоффе».

Биологические показатели в большинстве своем были взяты из соответствующей научной литературы со ссылками на каждое издание. Источником данных по вылову антарктического криля в разных статистических промысловых районах Антарктики был Статистический бюллетень, выпускаемый Комиссией по сохранению морских живых ресурсов Антарктики (CCAMLR).

Публикации и апробация работы. Основные результаты исследования были доложены на заседаниях Ученого Совета ВНИРО, а также на Всесоюзном совещании по макропланктону морей и океанов (1973 г., Москва), на I и II съездах советских океанологов (Москва, 1977 и 1987 гг.), на 5-й, 7-й, 8-й, 9-й и 12-й Всесоюзных конференциях по промысловой океанологии (Калининград, 1979 и 1993 гг., Астрахань, 1987 г., Ленинград, 1990 г. и Светлогорск, 2002 г.), на Всесоюзных конференциях по сырьевым ресурсам Антарктики (Керчь, 1983, 1987 гг.), на Конференции по исследованиям и охране окружающей среды Антарктики (С.-Петербург, ААНИИ, 2002 г.), на международном совещании рабочей группы Антарктической Комиссии (АНТКОМ) по крилю (Ялта, 1991), на Международной конференции по океанографии моря Росса, Антарктика (Италия, Леричи, 1997), на Ученом Совете Каталонского института морских исследований (Испания, Барселона, 1998).

По теме диссертации автором опубликованы 65 работ.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка используемых в тексте сокращений и некоторых пояснений и списка литературы, включающего в себя 368 наименований. Основные выводы даются в конце глав и обобщаются в заключении. Объем диссертации составляет 370 страниц, включая 86 рисунков и 8 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Введение.

Во введении рассматриваются актуальность темы, цель и основные задачи исследования, научная новизна и значимость выполненной работы. Кроме того, вниманию предлагается небольшой экскурс в историю исследований Антарктики и показано их современное состояние.

Глава I. Материал и методика исследования.

Об использованных в работе данных и их источниках было сказано выше. Аномалии атмосферного давления и температуры воды для летнего сезона

источника пищевого белка (особенно для близлежащих к Антарктике стран). Результаты работы позволяют определить величину допустимого изъятия криля, причем не только общую его цифру для всей суперпопуляции, но и, что более важно, для отдельных морей и районов его массовых концентраций. В этом важная практическая ценность работы в свете рационального использования сырьевых ресурсов Антарктики в рамках их сохранения и поддержания целостности экосистемы.

Хорошо выраженные элементы воздействия климатических колебаний на разных представителей макропланктона и его консументов в Антарктике на фоне относительно «чистых» экологических показателей, слабо затронутых антропогенным влиянием, могут служить своеобразным эталоном для подобных исследований в других регионах Мирового океана. Они также могут представлять несомненный интерес и с точки зрения учебного материала для соответствующих курсов океанологических и экологических отделений и кафедр в ВУЗ,ах страны.

Использованные данные. Основу данных по поверхностной температуре воды, температуре воздуха и атмосферному давлению на уровне моря составляет массив, полученный с сайта Центра диагностики климата (США) и представляющий собой результат реанализа данных по проекту NCEP – NCAR Reanalysis Project [Kalnay and Coauthors, 1996]. Кроме перечисленных гидрометеорологических показателей в работе привлекались также данные по геопотенциальной высоте поверхности 500 гПа, меридиональной и зональной компонентам приземного ветра. Из этого же источника были получены ряды разного типа климатических индексов, широко используемых в работе. К ним относятся индекс Южного Колебания (ЮК), индекс Антарктического Колебания (ААК) и показатели Эль-Ниньо на разных участках тихоокеанского экваториального пояса: ЭН 1.2; 3; 4; 3.4. Данные по положению кромки морского дрейфующего льда были взяты также из Интернета с австралийского сайта.

В работе также использован обширный материал, собранный в Антарктике в экспедициях ВНИРО, АтлантНИРО, АзЧерНИРО, ТИНРО, АНИИ и ИОРАН. Автор принимал непосредственное участие в 17-ти антарктических экспедициях на НПС «Академик Книпович» (8 рейсов), НПС «Одиссей», РТМС «Возрождение» (2 рейса), НИС «Профессор Зубов», НИС «Профессор Визе», НЭС «Академик Федоров» (3 рейса), НИС «Академик Иоффе».

Биологические показатели в большинстве своем были взяты из соответствующей научной литературы со ссылками на каждое издание. Источником данных по вылову антарктического криля в разных статистических промысловых районах Антарктики был Статистический бюллетень, выпускаемый Комиссией по сохранению морских живых ресурсов Антарктики (CCAMLR).

Публикации и апробация работы. Основные результаты исследования были доложены на заседаниях Ученого Совета ВНИРО, а также на Всесоюзном совещании по макропланктону морей и океанов (1973 г., Москва), на I и II съездах советских океанологов (Москва, 1977 и 1987 гг.), на 5-й, 7-й, 8-й, 9-й и 12-й Всесоюзных конференциях по промысловой океанологии (Калининград, 1979 и 1993 гг., Астрахань, 1987 г., Ленинград, 1990 г. и Светлогорск, 2002 г.), на Всесоюзных конференциях по сырьевым ресурсам Антарктики (Керчь, 1983, 1987 гг.), на Конференции по исследованиям и охране окружающей среды Антарктики (С.-Петербург, ААНИИ, 2002 г.), на международном совещании рабочей группы Антарктической Комиссии (АНТКОМ) по крилю (Ялта, 1991), на Международной конференции по океанографии моря Росса, Антарктика (Италия, Леричи, 1997), на Ученом Совете Каталонского института морских исследований (Испания, Барселона, 1998).

По теме диссертации автором опубликованы 65 работ.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка используемых в тексте сокращений и некоторых пояснений и списка литературы, включающего в себя 368 наименований. Основные выводы даются в конце глав и обобщаются в заключении. Объем диссертации составляет 370 страниц, включая 86 рисунков и 8 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Введение.

Во введении рассматриваются актуальность темы, цель и основные задачи исследования, научная новизна и значимость выполненной работы. Кроме того, вниманию предлагается небольшой экскурс в историю исследований Антарктики и показано их современное состояние.

Глава I. Материал и методика исследования.

Об использованных в работе данных и их источниках было сказано выше. Аномалии атмосферного давления и температуры воды для летнего сезона

а также особенности горизонтальной циркуляции вод, пространственной структуры распространения разных водных масс и их модификаций, положения фронтов.

Атмосферная циркуляция.

Наличие широкого океанического пространства, не прерываемого на всем циркулярном протяжении, способствует в климатическом плане формированию выраженной зональности в распределении барических образований, существованию зонального восточного переноса воздушных масс, по крайней мере в поясе широт между 40° и 65° ю.ш. Однако в реальном масштабе времени все же происходят заметные нарушения зональности переноса масс и симметрии расположения поясов высокого (умеренные и тропические широты) и низкого (высокие широты) давления. В результате межширотный воздухообмен совершается практически постоянно в том или ином месте циркулярного высокоширотного пояса как в верхних, так и в нижних слоях атмосферы, а это приводит к соответствующим вторжениям контрастных масс воздуха и возможным колебаниям температуры поверхностного слоя воды. Как мы увидим ниже, наиболее ярко этот механизм проявляется в восточной части Тихого океана (включая тихоокеанский сектор Антарктики).

Основные пути миграции циклонов Полярного фронта довольно стабильны по своему положению. Участки их стационарирования вблизи Антарктиды также можно рассматривать как стабильные. Их географическое положение связано с общим характером атмосферной циркуляции в Южном полушарии. Несколько забега вперёд, можно сказать, что оно подтверждается также корреляционными матрицами, показывающими связь колебаний летних индексов Антарктического (ААК) и Южного Колебаний (ЮК) с летними аномалиями полей атмосферного давления на уровне моря (рис. 2). Каждая из этих матриц демонстрирует наличие узлов повышенных величин корреляции. Причем их географическое положение практически стабильно. В поясе умеренных широт узлы расположены в районе Новой Зеландии, в юго - восточной части Индийского океана и в юго - восточной части Атлантического океана. В промежутках между узлами коэффициент корреляции сильно снижается. Это говорит о том, что колебания здесь имеют характер стоячих волн с географически фиксированными узлами и антиузлами [Wallace & Gutzler, 1981].

Океанографические особенности.

К океанографическим особенностям относятся, прежде всего, распределение разных структурных типов вод и их модификаций, положение границ между ними, т.е. фронтов и фронтальных зон, характер горизонтальной циркуляции вод в разных пространственных масштабах и, наконец, особенности распространения морского дрейфующего льда.

Структура вод, занимающих акваторию между материком и Южной Полярной фронтальной зоной (ЮПФЗ), относится к одному структурному типу - Антарктическому. Этот тип вертикальной структуры водной толщи характеризуется наличием трех основных водных масс:

- 1) Антарктической поверхностной (АПВ),
- 2) Циркулярной глубинной (ЦГВ),
- 3) Антарктической донной (АДВ).

Каждая из них имеет свои региональные отличия. При их рассмотрении, наряду с АПВ (как главной водной массой, с которой связано большинство этапов жизнедеятельности населяющей ее биоты), особое внимание уделено распространению ЦГВ и ее локальных модификаций, ее проникновению в пределы шельфовых зон приматериковых морей. Роль ЦГВ в распределении разных представителей планктонного сообщества особенно велика в районах материкового склона и шельфа. Кроме того, глубинные воды, как аккумулятор тепла, контролируют тепловое состояние поверхностных вод, определяя в значительной степени локальные климатические изменения. Примером такого воздействия ЦГВ служит район западного побережья Антарктического п-ова, единственный район в высокоширотном поясе, подвергшийся сильному потеплению. Это может быть связано с многолетними колебаниями интенсивности АЦТ в восточной части тихоокеанского сектора Антарктики. Последние, в свою очередь, в большой степени определяются режимом и интенсивностью Эль-Ниньо вкупе с состоянием поля атмосферного давления над умеренными и высокими широтами, показателем которого служит индекс Антарктического Колебания [Масленников, 2002В].

Гидрологические фронты. Океанографические границы (фронты) в Антарктике несут функции экологических границ [Макаров и др., 1990]. Каждая из модификаций вод имеет свой биологический облик. Прежде всего, это относится к планктонному сообществу, определенный набор видов которого

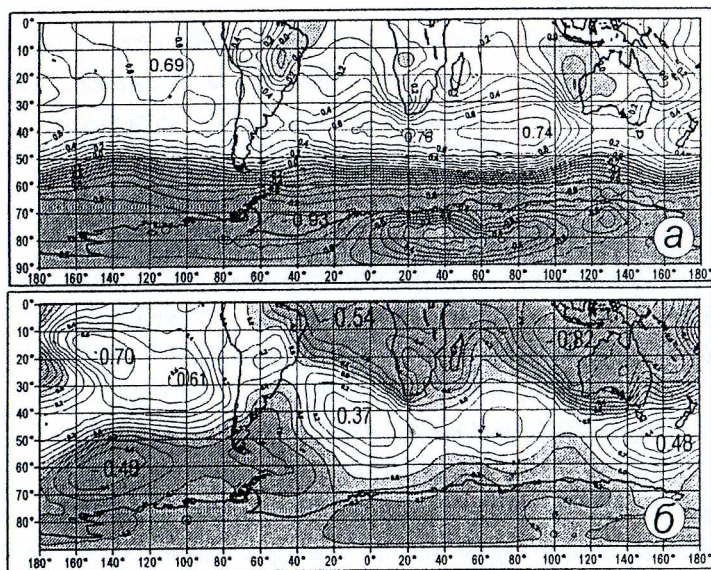


Рис. 2. Распределение коэффициента корреляции между колебаниями средних летних аномалий приземного атмосферного давления и аномалий индекса ААК (А) и индекса ЮК (Б). Отрицательные величины коэффициента заштрихованы, изолинии проведены через 0.1.

явно превалирует в разных типах вод. При этом во фронтальных зонах пространственные изменения обилия определенных видов происходят скачкообразно.

Рассмотрено положение основных фронтов Антарктики, начиная с Южной Полярной фронтальной зоны (ЮПФЗ) и далее на юг: Вторичной фронтальной зоны Антарктики (ВФЗА), или Фронта южной границы Антарктического Циркумполярного течения (ЮАЦТФ), Пришельфового антарктического поверхностного фронта (ПШАФ) и Антарктического Склонового фронта (АСФ). Особое внимание уделено распространению и структуре ВФЗА на участке, расположенном в южной части моря Скоша [Афанасьев, Масленников, 1983; Maslennikov, Solyankin, 1988].

ВФЗА приурочена к циркумполярной цепи циклонических круговоротов (к их северной периферии), развивающихся вблизи материкового склона Антарктиды. Таким образом, этот фронт является циркумполярной особенностью структуры антарктических вод [Масленников, Попков, 1988; Масленников, 1995]. Широтное положение фронта определяется

пространственными колебаниями АЦТ (рис. 3). Воды высокоширотной модификации расположены между ВФЗА с севера и бровкой материкового шельфа с юга. Этими водами заполнены приматериковые циклонические круговороты. Именно приматериковые круговороты служат основой ареала антарктического криля [Латогурский, 1979; Масленников, 1980]. По их периферии происходит массовый дрейф рачков, а ЮПФЗ является основной «магистралью» этого переноса и часто с ней связаны главные нерестовые участки криля [Макаров, Меньшенина, 1989].

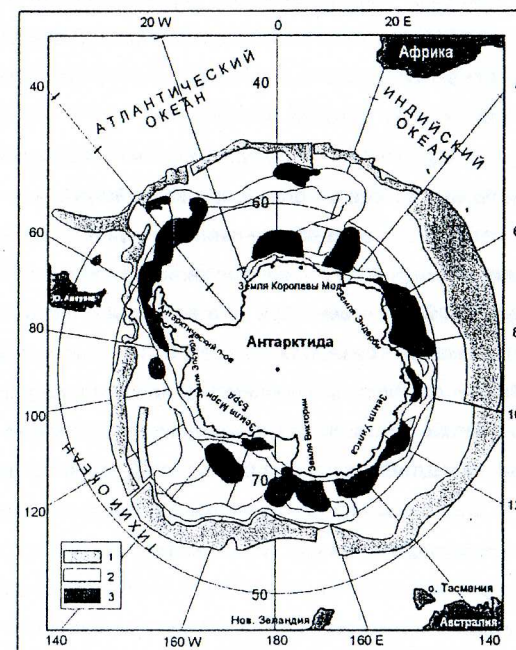


Рис. 3. Пространственная структура антарктических вод и распределение антарктического криля (*Euphausia superba* Dana).

1 - Южная Полярная фронтальная зона (ЮПФЗ) по: 10-30° в.д. [Саруханян, Смирнов, 1986], 30-40° в.д. [Lutjeharms, 1985], 40-100 в.д. [Nowlin, Klinck, 1986], 80-160° в.д. [Edwards, Emery, 1982], 165° в.д.-130° з.д. [Антипов и др., 1987], 130-80° з.д. [Gordon, 1967], 80-45° з.д. [Саруханян, Смирнов, 1986], 40-25° з.д. [Зозуля и др., 1993]. 2 - Вторичная фронтальная зона Антарктики (ВФЗА) по [Масленников, Попков, 1988]. 3 - положение наиболее плотных скоплений криля по [Макаров и др., 1993].

Горизонтальная циркуляция. Особенности горизонтальной циркуляции антарктических вод определяют общую картину распределения свойств, положения фронтов, водных масс и их модификаций. Квазиустойчивые течения отвечают за транспортировку и перераспределение организмов в пределах их биотопов. Любые нарушения в системе течений неизбежно ведут к соответствующим отклонениям от нормы и в распределении разных групп планктонного сообщества.

В антарктическом поясе можно выделить три основные зональные циркуляционные системы: Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ), система приматериковых циклонов и система шельфовых циркуляций. Все они подробно рассматриваются в работе с привлечением конкретных материалов и сведений по разным районам и морям Антарктики.

Дрейфующий лед. Система дрейфа льда в Антарктике способствует выносу его от материка на север, благодаря воздействию как ветров южных румбов, так и западных ветвей течений в системе приматериковых круговоротов. Если площадь льда в феврале занимает около 12% океанической акватории южнее ЮПФЗ, то в сентябре она возрастает до 60%. Межгодовая изменчивость положения северной ледовой кромки неравномерна в пространстве. Можно наблюдать уменьшение площади ледового покрова в одном районе, и в то же самое время его увеличение на смежной акватории. Пространственный масштаб таких колебаний сопоставим с циркумполярной стоячей волной (с волновым числом 3, имеющей три гребня и три подошвы) колебаний атмосферного давления на уровне моря.

Ледовый покров имеет большое значение в процессе жизнедеятельности некоторых животных Антарктики, в частности, пингвинов и тюленей. Антарктический криль в своем зимнем существовании, несомненно, привязан к богатым пищей участкам ледовой кромки. Более того, морской лед в Антарктике отличается большим количеством криофильного фитопланктона, большей частью, диатомовых водорослей. Нужно также подчеркнуть, что положение кромки является хорошим показателем общего теплового состояния сезона, хотя в масштабе отдельных морей могут накладываться локальные особенности, связанные с местными ветрами.

Глава IV. Межгодовые и долгопериодные колебания гидрометеорологических условий в высоких широтах Южного полушария.
Пространственная структура колебаний атмосферного давления на уровне моря.

В южном полушарии выделяются две главные моды колебаний приземного атмосферного давления: так называемая Южная Кольцевая мода (Southern Annular Mode [Thompson & Wallace, 2000]) и экваториально-тропическая мода. Кольцевая мода определяется колебаниями в режиме циркумполярного "seesaw" (синхронных противофазных колебаний) между поясом умеренных широт и высокоширотной областью. Зонально-симметричное циркумполярное расположение аномалий давления разного знака послужило отправной точкой при вычислении индекса Антарктического Колебания (ААК), определяемого как разница между средними величинами приземного атмосферного давления на 40 и 65° ю.ш. [Gong & Wang, 1999].

Этот тип колебаний хорошо иллюстрируют корреляционные матрицы в поле давления для аномалий летнего индекса ААК (см. рис. 2а) и аномалий давления в кластере 17 (рис. 4а). Они свидетельствуют о некой изолированности высокоширотной системы в целом. Единый характер колебаний давления в кластере 17 можно считать фоном, ответственным за который являются колебания давления в режиме Кольцевой Моды, численным показателем которой служит индекс Антарктического Колебания.

В восточной части Тихого океана формируется обширная область, приблизительно от 40° ю.ш. до экватора, связь которой с высокоширотным поясом характеризуется довольно высоким коэффициентом корреляции (до 0,69) (рис. 2а).

Наиболее ярко зонально-симметричный вид распределения коэффициента корреляции выражен в случае сопоставления колебаний между летними аномалиями индекса ААК и геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа (см. рис. 4в).

Второй тип колебаний приземного атмосферного давления южного полушария относится к экваториально – тропическим районам океанов и включает в себя глобальную противофазную систему колебаний давления - Южное Колебание (ЮК). Эту моду демонстрируют корреляционные матрицы для экваториальных кластеров (1, 3 и 4) (см. рис. 4б). Воздействие данной моды колебаний на высокоширотную область хорошо проявляется в

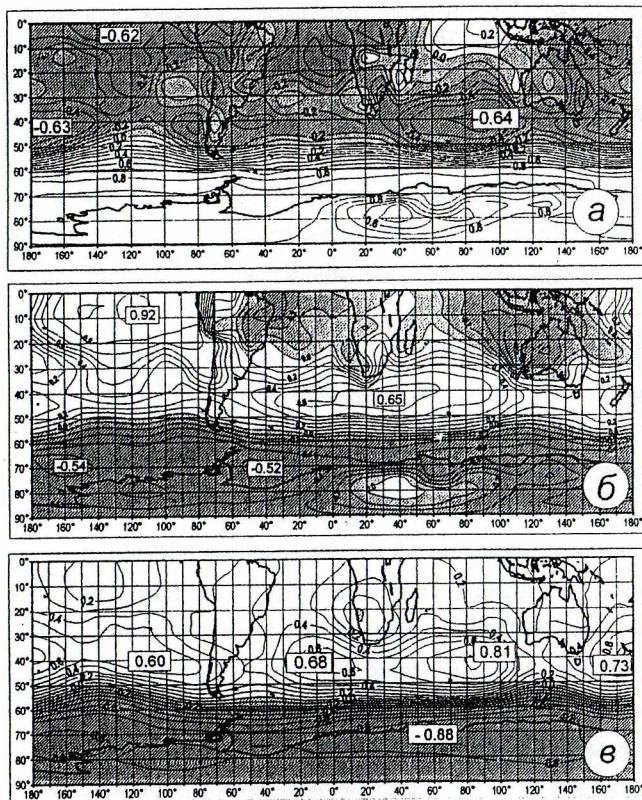


Рис. 4. Распределение коэффициента корреляции между колебаниями средних летних аномалий приземного атмосферного давления и аномалий давления в кластере 17 (а), аномалий давления в кластере 1 (б) и между колебаниями летних аномалий индекса ААК и аномалий геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа (в). Отрицательные величины коэффициента заштрихованы, изолинии проведены через 0.1.

распределении аномалий давления в годы экстремальных величин ЮК, т.е. в годы развития явлений Эль-Ниньо и Ля-Нинья. При этом очевидна смена знака аномалий давления в экваториально-тропических областях Тихого океана, формирующих дипольную структуру противофазных колебаний давления, на которой основан расчет индекса Южного Колебания. Смена знака аномалий давления происходит и в высокоширотной области: в южной части Атлантического океана, Австрало-Новозеландском районе и в центральной и восточной частях тихоокеанского сектора Антарктики (главные и наиболее существенные изменения).

Мы приходим, таким образом, к важному выводу о том, что явление Эль-Ниньо всегда сопровождается развитием очагов положительных аномалий давления в тихоокеанском секторе Антарктики (охватывая частично и умеренные широты).

Пространственная структура колебаний поверхностной температуры воды в Антарктике.

В поле температуры воды пространственная структура колебаний сложнее, количество кластеров больше. Хорошо заметно соответствие кластеров массивам разных типов антарктических вод.

Нужно заметить, что все кластеры, соответствующие антарктическим водам, т.е. водам, расположенным южнее ЮПФЗ, демонстрируют низкий уровень связи (менее 0,40) с кластерами, расположенными в иных климатических поясах. В самом же антарктическом поясе формируются положительные дальние связи между колебаниями поверхностной температуры воды в разных секторах.

В южном полушарии были зафиксированы следующие пять типов дальних связей: Антарктический – зональные связи между колебаниями на разных участках антарктической зоны; Субантарктический – зональные связи между колебаниями в Субантарктической зоне; тип зональных дипольных связей между колебаниями в разных областях высоких широт и в юго-восточной части Тихого океана; Экваториально-тропический – зональные связи в трех океанах, включающие в себя колебания в режиме Эль-Ниньо; Восточно-тихоокеанский – меридиональный тип связи, объединяющий в единый механизм колебания в высоких, субтропических и экваториально-тропических широтах.

Учитывая особую роль восточно-тихоокеанской моды колебаний ТПО, можно предположить, что единственные серьезные климатические изменения (общее потепление приземного слоя атмосферы на 2.5° за 50 лет), произошедшие в Антарктике на западном (тихоокеанском) шельфе Антарктического полуострова, хотя и являются следствием локальных процессов, имеют все же глобальную причину. Рис. 5 демонстрирует впечатляющие различия между летними (декабрь-февраль) полями аномалий поверхностной температуры воды в годы Эль-Ниньо и Ля-Нинья. На рисунке видно, что выявленные выше характерные для Восточной Пацифики меридионально расположенные узлы-зоны с чередующимся знаком

южного полушария (декабрь – февраль) вычислялись, исходя из базовых средних величин за 1961–1990 гг. Вся последующая работа велась с этими величинами.

Массив данных по атмосферному давлению был сокращен до 684 точек с шагом по меридиану, равным 5° , и по параллели – 10° . В поле температуры воды были оставлены 960 точек с шагом по меридиану, равным $3^\circ 49'$, и по параллели – $7^\circ 30'$.

Задача разделения акватории южного полушария на отдельные более или менее крупные регионы с когерентным характером колебаний атмосферного давления и поверхностной температуры воды в них решалась с помощью одного из методов иерархического кластерного анализа – метода Дж. Уорда [Ward, 1963], сущность которого заключается в нахождении двух точек, объединение которых приводит к минимальному увеличению дисперсии. В результате мы получили общее количество кластеров для южного полушария в поле аномалий давления, равное 18, а в поле аномалий температуры воды – 34 (рис. 1). Мы остановились на указанных результатах в силу, прежде всего, хорошего совпадения выделенных на данном уровне классификации кластеров

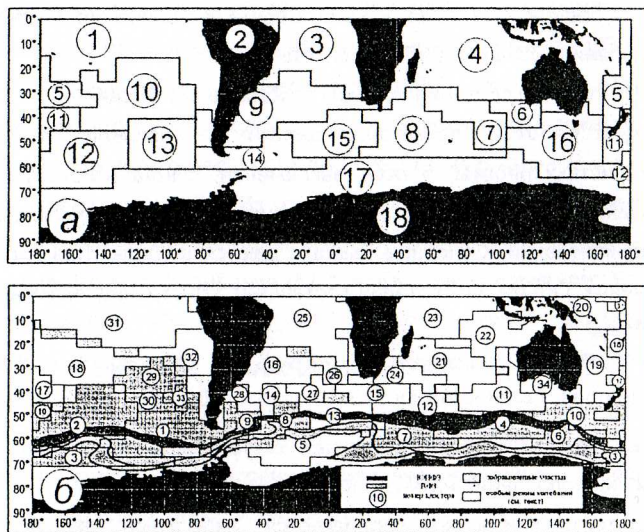


Рис. 1. Распределение кластеров в поле летнего приземного атмосферного давления [Масленников, 2001А] и в поле летней поверхностной температуры воды южного полушария [Масленников, 2001Б]. ЮПФЗ – Южная Полярная фронтальная зона; ВФЗ – Вторичная фронтальная зона.

с естественными природными океанографическими образованиями, такими, как крупномасштабные Круговороты Уэдделла и Росса, воды высокоширотной модификации и воды АЦТ.

Вычисленные временные ряды аномалий давления и температуры воды для каждого кластера в дальнейшем использовались при построении корреляционных матриц, так называемых карт точечной корреляции [Wallace, Gutzler, 1981], анализ которых позволяет исследовать пространственную структуру колебаний.

Анализ временной структуры колебаний проводился с помощью наиболее простых моделей, описывающих временной ход аномалий давления на уровне моря и поверхностной температуры воды, а также индексов ЮК, ЭН и ААК. При этом особое внимание уделялось выявлению периодов с различным режимом колебаний и сроков их смены (режимных сдвигов).

Сопоставление межгодовых и многолетних колебаний разных биологических показателей с показателями условий среды и индексами ААК, ЮК и ЭН не всегда дают статистически значимые результаты в силу относительной непродолжительности рядов, прежде всего, биологических данных. Это одна из условностей, которую необходимо принять (конечно, с правомерной долей сомнения), чтобы продолжать подобные исследования на современном этапе.

Глава II. Краткий исторический обзор экосистемных исследований в Антарктике.

В данной главе дан краткий поэтапный обзор экосистемных исследований в Антарктике: работы Комитета Дискавери (Великобритания) в 1920-1930-х годах, крупный вклад советских ученых в 1950-1980-х годах и, наконец, активизация современной научной деятельности в Антарктике.

К настоящему времени сложились общие представления об основных чертах этой экосистемы как в целом, так и отдельных ее компонентов, приуроченных к разным структурным типам вод. Однако пока еще недостаточно разработаны вопросы связей различных биологических показателей с условиями среды, а также проблемы формирования природных систем (как компонентов общей экосистемы Антарктики), в которых происходят однонаправленные колебания в атмосфере, океане и биосфере.

Глава III. Основные метеорологические и океанографические особенности Антарктики.

В третьей главе рассмотрены основные особенности атмосферной циркуляции, положения атмосферных фронтов и путей перемещения циклонов,

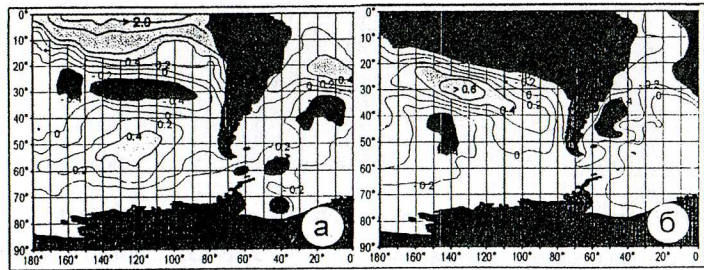


Рис. 5 Распределение средних летних аномалий атмосферного давления на уровне моря в годы минимальных (годы Эль-Ниньо - 1959, 1964, 1966, 1969, 1973, 1978, 1983, 1987, 1992, 1998) (а) и максимальных (годы Ля-Нинья - 1956, 1962, 1967, 1971, 1974, 1976, 1989, 1997, 1999) (б) значений индекса ЮК.

корреляции в годы разных режимов меняют знак аномалий поверхностной температуры воды на противоположный.

Временная структура климатических колебаний атмосферного давления на уровне моря.

Хотя главным физическим механизмом, ведущим к межгодовым климатическим колебаниям на планете, является Южное Колебание, для высоких и умеренных широт южного полушария воздействие Антарктического Колебания оказывается сильнее. В то же время физическое проявление обеих мод колебаний (ЮК и ААК) в высоких и умеренных широтах очень похоже.

Временная структура климатических колебаний атмосферного давления в Южном полушарии, главным образом, определяется режимом двух основных мод - Кольцевой моды (Антарктического Колебания - ААК) и экваториально-тропической моды, включающей в себя глобальную систему Южного Колебания (ЮК). Колебания индекса ААК демонстрируют два режимных сдвига в ходе аномалий, произошедшие в 1963 - 1965 гг. и в 1982 - 1983 гг. Нетрудно заметить, что оба они связаны с явлением Эль-Ниньо 1963-64 гг. и 1982-83 гг. и отражают тем самым реакцию ААК (как показателя противофазных колебаний давления в умеренных и высоких широтах) на события Эль-Ниньо. Отмеченные климатические сдвиги разделяют три периода с подобными по характеру трендами колебаний. Они проявляются в той или иной степени в большинстве кластеров, выделенных в поле приземного атмосферного давления.

Можно констатировать, что с 1949 г. существовали три волны роста индекса ААК в летний сезон. С точки зрения изменений в поле атмосферного давления можно констатировать все большее понижение среднего летнего давления в высокоширотной области и его рост в поясе умеренных широт. Этот общий для всего ряда данных по индексу ААК процесс существенно компенсировался двумя отмеченными «сбросами» в 1963-65 и 1982-83 гг. (рис. 6). Последняя волна роста индекса ААК, начавшаяся в 1983 г., характеризуется с 1986 г. в основном положительными (и часто рекордно высокими по величине) аномалиями индекса ААК, сопровождавшимися также рекордными по абсолютной величине отрицательными аномалиями давления в высокоширотной области.

Как видно, выявленные режимные сдвиги и длительные (порядка 18-19 лет) периоды постепенного роста аномалий характеризуют некую цикличность колебаний давления в южном полушарии. Очередной цикл завершается резким «сбросом» величины аномалий давления, происходящим в год развития Эль-Ниньо. Можно предположить, что Эль-Ниньо 2002-2003 гг. будет сопровождаться очередным режимным сдвигом, означающим переход к очередному 18-19-летнему периоду накопления свойств. Эль-Ниньо 2002-2003 гг. было слабым, его интенсивность не превышала 1.5°, однако, это не противоречит вероятности ожидаемого режимного сдвига. Аналогичная ситуация наблюдалась в 1963/64 гг.

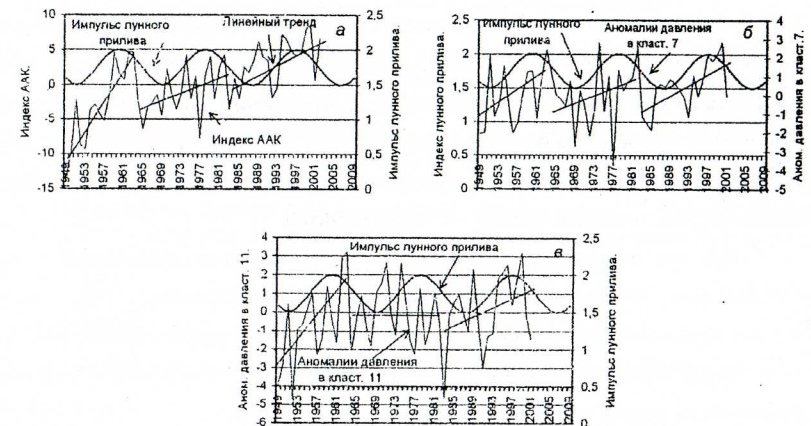


Рис. 6. Графики изменения величины импульса долгопериодного лунного прилива, индекса ААК (а) и аномалий давления для кластеров 7 (б) и 11(в).

тихоокеанского сектора, в районе между Африкой и Антарктидой и в районе между западной Австралией и Антарктидой;

5) снижение температуры воды на большей части высокоширотной области за исключением района западной части атлантического сектора и западной части тихоокеанского сектора.

Соответственно, отрицательная величина индекса ААК есть показатель обратных процессов. При этом нужно отметить сужение зоны западных ветров и смещение ее оси на север, примерно на 45° ю.ш.;

Таким образом, изменчивость поверхностной температуры воды в высокоширотной зоне зависит от характера атмосферной циркуляции с соответствующей изменчивостью зонального переноса (скорости западных ветров, ширины охваченной ими зоны и широтного положения ее оси). Ослабление западных ветров (понижение индекса ААК) сопровождающееся сужением зоны их действия и смещением ее оси на 45° ю.ш. ограничивает воздухообмен между антарктической океанической зоной и более северными широтами. Таким образом воздухообмен в высокоширотной океанической системе в значительной степени замыкается на себя. Отсюда – малые величины аномалий температуры воды во всей Антарктике в период с 1949-50 гг. по 1978-81 гг., когда преобладали пониженные величины индекса ААК.

Напротив, усиление западных ветров (при повышенных индексах ААК) и расширение их зоны действия почти до побережья Антарктиды приводит к тому, что вся антарктическая океаническая область оказывается под влиянием транзитной, высокоградиентной зоны между альтернативными поясами давления. Там, благодаря увеличению амплитуды зональной волны в поле приземного давления [Mo & White, 1985; Cai et al., 1999], создаются участки проникновения теплых воздушных масс с севера в высокие широты и холодных с юга в умеренные широты. Именно в этот период (с 1979-1982 гг по настоящее время) наблюдался неустойчивый режим колебаний температуры воздуха с высокими по абсолютной величине аномалиями. Аналогичным образом менялась и температура поверхности океана.

Теплые и холодные эпохи.

Достаточно продолжительные периоды с преобладанием одного знака аномалий поверхностной температуры воды не редкость для высокоширотных районов. Отмеченная выше связь между величинами индекса ААК и фоновыми потеплением или похолоданием действительно существует, хотя проявляется

она не везде. Явному воздействию циклов ЮК и ААК подвержены, прежде всего, воды Антарктического Циркумполярного течения. Можно констатировать, что сроки смены тепловых эпох соответствуют известному в северном полушарии режимному климатическому сдвигу 1977/78 гг. (или очень близки к нему).

Можно констатировать, что в годы повышенных индексов ААК наряду с понижением давления в высокоширотной области, там наступает холодный фоновый режим, т.е., большей частью, наблюдаются отрицательные аномалии как температуры воздуха, так и воды. Соответственно, при низких величинах индекса ААК и росте давления в высокоширотной области там наблюдается фоновое потепление. Все это прежде всего относится к центральной и восточной частям тихоокеанского сектора Антарктики, районам между Австралией и Антарктидой, Африкой и Антарктидой и приматериковой полосе океана.

Колебания поверхностной температуры воды в высоких широтах южного полушария, ассоциируемые с Эль-Ниньо – Южным Колебанием (ЭНЮК).

Как уже было отмечено, в высокоширотном поясе происходят изменения давления и температуры воды, связанные с воздействием такого глобального явления как Южное Колебание с его экстремальными проявлениями – событиями Эль-Ниньо – Ля-Нинья. При этом характер отклика в высоких широтах на колебания ЭНЮК зависит от фазы междекадных колебаний индекса ААК. На рис. 8 приведена серия карт, демонстрирующих изменение аномалий поверхностной температуры воды в восточной части Тихого и западной части Атлантического океанов в годы Эль-Ниньо (в летние сезоны). Последовательность карт связана с попыткой представить реакцию поля температуры воды в высоких широтах на постепенное усиление воздействия Эль-Ниньо в зависимости от его «интенсивности».

На кривой изменений летнего индекса Южного Колебания все годы Эль-Ниньо отражены падением индекса. Причем, если с 1952 г. по 1977 г. средний индекс ЮК для лет развития Эль-Ниньо был равен $-1,7$, то после 1977 г. он снизился до $-4,0$. Именно в последний период наблюдались наиболее сильные явления Эль-Ниньо, выраженные средним показателем интенсивности $2,3^\circ$ при максимальных величинах $3,0^\circ$ в 1982-83 гг. и $3,4^\circ$ в 1997-98 гг. В первом периоде (1952-1977 гг.) средняя величина интенсивности наблюдавшихся Эль-Ниньо была лишь $1,3^\circ$ при максимальной $2,2^\circ$ в 1972-73 гг.

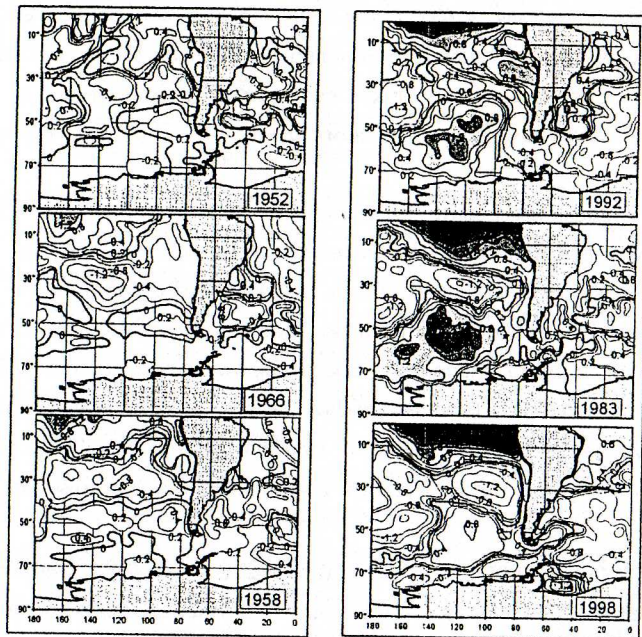


Рис. 8. Распределение средних летних аномалий поверхностной температуры воды в годы Эль-Ниньо. Положительные значения выше 0.2° затенены.

Слабое Эль-Ниньо 1952 г (максимальные средние летние аномалии порядка 0.3° на экваторе) сопровождалось столь же слабыми проявлениями в поле поверхностной температуры воды в южной части Тихого океана (в поясе 40° - 60° ю.ш.) (см. рис. 8). Положительные аномалии чуть превышали 0.2° западнее южной оконечности Ю.Америки. Аналогичная картина наблюдалась в 1966 г. (аномалии на экваторе до 1.2°) с некоторым увеличением области, охваченной положительными аномалиями температуры воды в Антарктике. В 1958 г. (более 1.8° на экваторе) зона положительных аномалий температуры воды, оставаясь в том же поясе, заметно увеличилась и аномалии возросли до 0.4° - 0.6° . После режимного сдвига 1976-78 гг. летний индекс ЮК вступил в эпоху преимущественно отрицательных величин, а индекс ААК, напротив, положительных. Это сопровождалось увеличением изменчивости атмосферных и океанических показателей, обострением пространственных контрастов, увеличением интенсивности Эль-Ниньо. В 1983 и 1998 гг. произошли рекордно сильные явления Эль-Ниньо. В 1992 г., когда на экваторе средняя летняя

аномалия температуры воды достигла 2.6° , область положительных аномалий в Южном океане охватила уже и примыкающие к Антарктиде участки. Аномалии превысили 1.4° . Но максимального своего развития проявление Эль-Ниньо в Антарктике получило в 1983 г. Аномалия летней температуры воды на экваторе превысила 3.0° , а в высоких широтах достигала 2.0° .

Рис. 9 показывает изменения во времени летней поверхностной температуры воды на 120° з.д. Меридиан 120° з.д. выбран как наиболее репрезентативный с точки зрения развития очагов повышения температуры воды в тихоокеанском секторе Антарктики в годы Эль-Ниньо и ее понижения в годы Ля-Нинья: Хорошо видна смена климатических эпох, произошедшая в конце 70-х - начале 80-х годов. В эпоху до 80-х годов при очень слабой

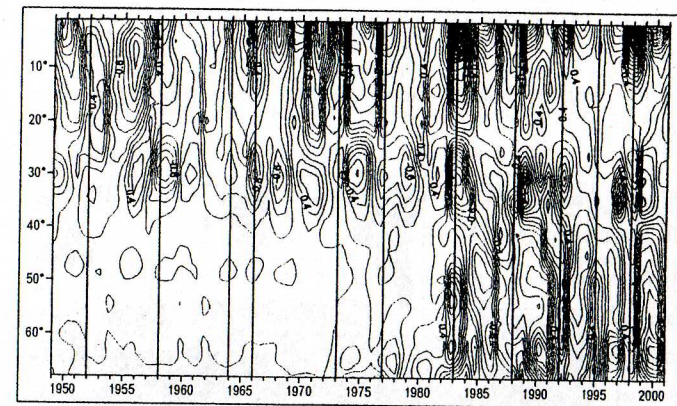


Рис. 9. Диаграмма Ховмоллера. Изменение во времени летних аномалий температуры воды на меридиане 120° з.д. Обозначения: затенены положительные аномалии температуры воды. Вертикальным линиями обозначены события Эль-Ниньо.

изменчивости температуры воды в поясе 40° - 65° ю.ш. наблюдалась слабая температурная реакция на события Эль-Ниньо и Ля-Нинья, которые, в свою очередь, также не отличались большой интенсивностью. В последующую эпоху (после начала 80-х годов) их интенсивность существенно увеличилась. Столь же ощутимо возросла и температурная реакция в высоких широтах.

Глава V. Климатические колебания и биологическая компонента экосистемы Антарктики. Пространственная структура колебаний в Антарктике (выделение природных систем).

Ранее было установлено пространственное разнообразие меридиональной направленности (знака) тех или иных процессов в атмосфере и океане [Масленников, 2002А, Б, В, 2004А]. Важно отметить сходство в пространственной структуре колебаний в атмосфере и океане, как результат их взаимодействия. Можно выделить и условно оконтурить крупные регионы с однонаправленной реакцией на разного рода крупномасштабные климатические колебания (рис. 10). Можно предположить, что аналогично, т.е. с соответствующим знаком, будут происходить изменения в локальных экосистемах, включенных в каждый из этих регионов (конечно, с учетом локальных особенностей воздействия условий среды на разных представителей животного мира). Вкупе с биологической направленностью колебаний выделенные районы можно характеризовать как природные системы.

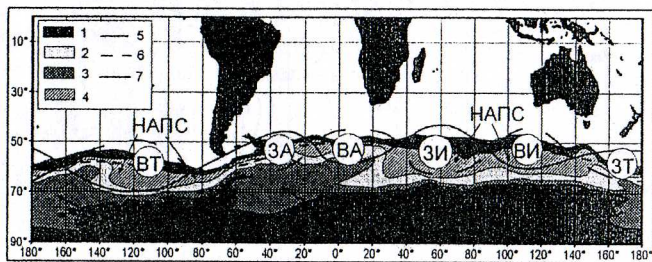


Рис. 10. Схема положения природных систем и климатических областей в Антарктике. Обозначения: 1 – ЮПФЗ; 2 – ВФЗА; 3 – Высокоантарктическая природная система (ВАПС); 4 – Низкоантарктическая природная система (НАПС); 5, 6, 7 – схематичное изображение среднего и экстремальных положений стоячей волны колебаний (см. текст); ЗТ – западно-тихоокеанская, ВТ – восточно-тихоокеанская, ЗА – западно-атлантическая, ВА – восточно-атлантическая, ЗИ – западно-индоокеанская, ВИ – восточно-индоокеанская климатические области.

Итак, в период развития зонально-симметричного типа атмосферной циркуляции в Антарктике можно выделить два зональных пояса, подверженных климатическим колебаниям приземной температуры воздуха с разным знаком. Это – пояс вод высокоширотной модификации (Высокоширотная антарктическая природная система – ВАПС на рис. 10), т.е. вод,

расположенных к югу от ВФЗА, и пояс низкоантарктических вод АЦТ (Низкоширотная антарктическая природная система – НАПС на рис. 10), располагающихся между ВФЗА и ЮПФЗ. В водах НАПС при зонально-симметричном типе зональные различия направленности колебаний (знака) температуры нивелируются в силу ослабления внедрений контрастных воздушных масс. Зонально-волновой тип, противоположный по характеру зонально-симметричному, характеризующийся ростом амплитуды стоячей волны, напротив, способствует взаимопроникновениям теплых и холодных воздушных масс, сопровождающимся усилением меридиональных сдвигов, причем с разным знаком в смежных районах. Как видно на рис. 10, севернее циркулярной ВФЗА выделяются шесть крупных регионов, которые при этих условиях могут характеризоваться последовательной сменой знака направленности процессов в атмосфере и в океане. Схематично положение волны можно представить следующим образом. В каждом из океанов формируются два альтернативных района с противоположным знаком аномалий (в данном случае и температуры воздуха, и давления). Это будут западные (ЗТ) и восточные (ВТ) части в тихоокеанской (примерно 140° в.д. – 180° и 80° з.д. – 170° з.д. соответственно), атлантической (ЗА и ВА, примерно 10° з.д. – 70° з.д. и 0° – 40° в.д.) и индоокеанской (ЗИ и ВИ, примерно 50° в.д. – 90° в.д. и 90° в.д. – 130° в.д.) областях (рис. 10). Эти участки соответствуют фиксированным узлам стоячей атмосферной волны распространения аномалий. Они охватывают, прежде всего, районы умеренных широт, но, наряду с ними, часто распространяют свое влияние и на высокоширотные районы. Схема составлена с учетом пространственного распределения кластеров в полях температуры воды и приземного давления, анализа корреляционных матриц распределения коэффициента корреляции между индексами Южного Колебания (ЮК) и Антарктического Колебания (ААК) и показателями Эль-Ниньо с одной стороны и полями температуры воды и приземного давления с другой, а также распределения средних летних значений полей аномалий температуры воды, воздуха и давления в разные климатические эпохи.

Волновой характер распространения демонстрирует также развитие ледового покрова. Колебания зимнего индекса ААК хорошо коррелируются с зимним распространением льда (рис. 11). При этом можно видеть три узла повышенных величин положительного коэффициента корреляции ($r = 0.32$ –

0.50) и, соответственно, три узла его относительно высоких отрицательных величин ($r = -0.20 - -0.42$). Колебания волны наиболее явно проявляются лишь в областях ВТ и ЗА. На остальных участках волна действует эпизодически даже в периоды развития зонально-волнового типа циркуляции. Однако знак меридиональной направленности переноса в каждой области, как правило, соответствует колебаниям индекса ЮК и показателей Эль-Ниньо. Таким образом, с большой долей вероятности можно полагать, что в экстремальные годы, т.е. в годы высоких показателей Эль-Ниньо (и, соответственно, низких величин ЮК) в области ВТ произойдет рост температуры воздуха и воды, а в области ЗА более вероятно ее понижение. Соответственно, в областях ВА и ВИ следует ожидать либо нейтральной реакции, либо, также как в области ВТ,

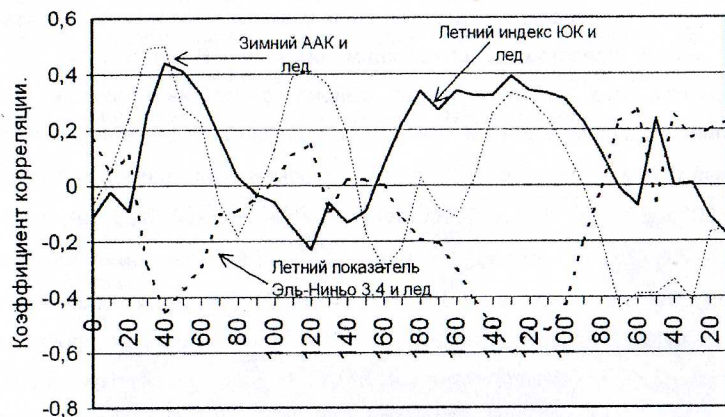


Рис. 11. Связь индексов ААК, ЮК и показателя Эль-Ниньо 3.4 с колебаниями зимнего распространения льда на меридианах, кратных 10° долготы.

роста температуры, но практически исключено сильное похолодание. В областях ЗИ и ЗТ, напротив, следует исключить возможность сильного потепления (как и в ЗА). Соответственно, при развитии противоположного по знаку экстремального события (Ля-Нинья) знак колебаний в перечисленных областях меняется на обратный.

Максимальная амплитуда колебаний волны (зонально-волновой тип атмосферной циркуляции) сопровождается повышенными величинами индекса ААК и пониженными индекса ЮК. Длительная эпоха, характеризующаяся такими показателями, наблюдалась с 1978 г. по настоящее время. Ей свойственно (впрочем, как и в отдельные годы, характеризующиеся подобными величинами

индексов) обострение градиента давления между альтернативными поясами, увеличение меридиональных контрастов, усиление воздухо- и водообмена, а с ними и изменчивости температуры воздуха и воды (рост аномалий), интенсификация явления Эль-Ниньо и, соответственно, усиление реакции на него поля температуры в Антарктике. Есть предпосылки к завершению этой эпохи в 2002/2003 гг.

Амплитуда волны может меняться год от года, тем самым либо сглаживая пространственные различия в зональном направлении, либо обостряя их. При низких значениях индекса ААК и, напротив, относительно высоких величинах индекса ЮК (подобные показатели преобладали до 1978 г.) наблюдается обратная описанной выше картина, сопровождаемая ослаблением меридиональных контрастов со всеми вытекающими последствиями. Это зонально-симметричный тип атмосферной циркуляции. Амплитуда волны сводится к минимуму. Соответственно, изменения, происходящие практически во всей зоне НАПС, расположенной между ЮПФЗ и ВФЗА, имеют один знак.

Сложность изучения этих систем заключается в отсутствии жестких границ между ними. Это означает, что возможные отклонения естественны и неизбежны, тем более в пограничных районах.

Климатические колебания и криль (*Euphausia superba* Dana). Изменчивость в рамках планктонного сообщества Антарктики.

Предваряя последующие разделы, в которых рассматриваются связи климатических колебаний в Антарктике с популяционными изменениями как некоторых представителей планктонного сообщества, так и более высоких уровней, рассмотрены общие сведения о продуктивности антарктических вод, об основных фаунистических группах и их пищевых взаимоотношениях, а также более подробно представлены сведения об особенностях биологии и распределения ключевого звена некоторых трофических цепей - антарктического криля (*Euphausia superba* Dana).

Можно полагать, что заметные локальные колебания биомассы криля в большей степени связаны с особенностями распределения, чем с изменениями его общего обилия. В свою очередь серьезные изменения в распределении рачков, естественно, связаны, прежде всего, с соответствующими колебаниями переноса масс в атмосфере и океане в меридиональном направлении. Это результат общей океанографической и биологической зональности Антарктики

В колебаниях индекса ААК переход от аномалий одного знака к аномалиям с другим знаком в корне меняет глобальную картину распределения аномалий давления в южном полушарии. Это происходит в силу единой реакции большей части высокоширотной области (кластер 17). Вместе с давлением происходит соответствующая перестройка и в полях других характеристик. В силу наличия столь ярких климатических контрастов, сопровождающих изменения знака индекса ААК, большой интерес вызывают более или менее длительные периоды, характеризующиеся аномалиями одного знака (или их явным преобладанием).

К таким отрезкам времени можно отнести следующие годы: в ходе индекса ААК 1949-1977 гг. (большая часть отрицательные аномалии) и 1978 - 2000 гг. (большая часть, положительные аномалии) и в ходе индекса ЮК 1977 - 1998 г. (превалируют отрицательные аномалии).

Временная структура колебаний поверхностной температуры воды.
Режимные сдвиги.

В колебаниях аномалий летней температуры воды проявляются два хорошо выраженных периода с различным режимом колебаний. Это различие заключается в очень слабой изменчивости летней температуры воды в период с 1949-1950 гг. по 1978-1981 гг. и резком ее увеличении с 1979-1982 гг. по настоящее время. Это относится к кластерам 1-4, 6-10, 29, 30 и 33. В среднем в первый период аномалии колебались, большей частью, в диапазоне -0.2° - $+0.2^{\circ}$. Во второй период их абсолютная величина резко увеличилась до 0.6° - 1.3° . Это явление должно быть связано с усилением или ослаблением изоляции высокоширотной области, усилением или ослаблением межширотного водо- и воздухообмена. Главным показателем такой изоляции служит постоянно существующий в климатическом плане пояс интенсивных западных ветров, вызванных высоким градиентом между альтернативными зонами атмосферного давления [Масленников, 2002В, 2004А (в печати)].

Как мы видели, смена знака аномалий индекса ААК ведет к очень контрастным изменениям в высокоширотной области. При высоких положительных величинах индекса происходят следующие процессы (рис. 7):

1) рост градиента давления между альтернативными поясами (понижение давления на уровне моря в высокоширотной области);

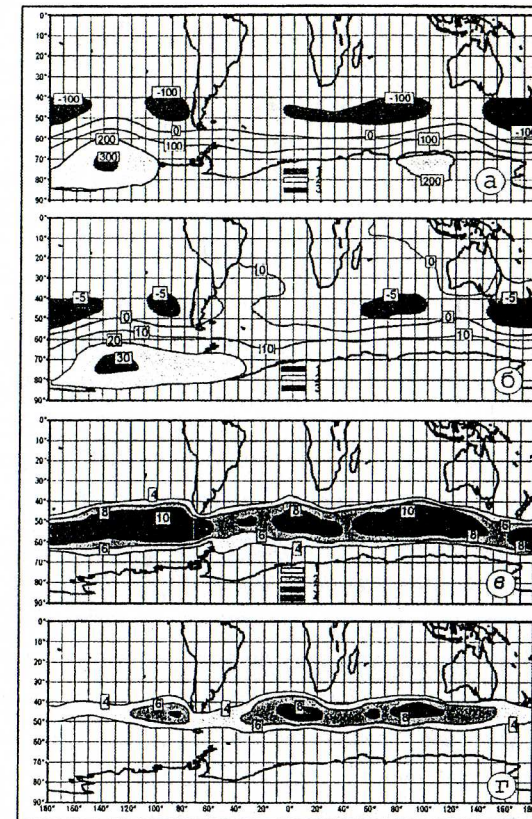


Рис. 7. а) Разница геопотенциальных высот на поверхности 500 мб между летними сезонами 1948-49 г. и 1998-99г. Значения в геопотенциальных метрах. Обозначения: 1 – менее (-100 м), 2 – 200-300 м, 3 – более 300 м. б) Разница давления на уровне моря между летними сезонами 1948-49 г. и 1998-99 г. Значения в мб. Обозначения: 1 – меньше (-5мб), 2 – 20-30 мб, 3 – больше 30 мб. в) Скорость зональной компоненты ветра летом 1998-99 г. Значения в м/с. Обозначения: 1 – 4-6 м/с, 2 – 6-8 м/с, 3 – 8-10 м/с, 4 – более 10 м/с. г) Скорость зональной компоненты ветра летом 1948-49 гг. Обозначения как на рис. (в).

- 2) усиление зональной компоненты ветра на 0.5-2.0 м/с;
- 3) расширение зоны западных ветров, смещение ее оси на юг, примерно на $51-55^{\circ}$ ю.ш.;
- 4) снижение температуры воздуха над материком и вблизи побережья, а также над океаническими районами в центрально-восточной части

[Gordon et al., 1977; Deacon, 1982]. Изменения меридионального переноса определяют разную возможность выноса криля на северную периферию основы ареала, т.е. в места его массового дрейфа, где формируются крупные скопления и происходит основной нерест [Масленников, Солянкин, 1980]. Количество рачков там определяет как условия промысла, так и условия воспроизводства криля [Масленников, 2002Г, 2004Б (в печати)].

В отмеченных в конце прошлого века изменениях в морской экосистеме Антарктики и, в частности, в изменениях структуры антарктического планктонного сообщества, в том числе, в значительном росте популяции сальп заметны черты воздействия климатических колебаний, связанных с изменениями меридиональной направленности переноса масс в атмосфере и океане. Так, анализ планктонного материала, собранного на разрезе по 67° ю.ш. в тихоокеанском секторе Антарктики летом 1992 г. в 6-м рейсе НИС «Академик Иоффе», показал наличие севернее морей Амундсена и Беллинсгаузена многочисленных вселенцев из северных областей, таких как *S. simillimus*, *Eucalanus longiseps*, *E. hialinus*, *Euphausia frigida*, *E. triacantha* [Воронина, Масленников, 1993]. Это сопровождалось соответствующими климатическими изменениями. Аномалия давления в восточной части тихоокеанского сектора достигала +8 мб, аномалия температуры воздуха превышала +1.5°, аномалия поверхностной температуры воды была выше 1.7°. Глубинный максимум температуры (Т_{макс}) достигал величины 2.07°С [Масленников, 1992], что свойственно глубинным водам вблизи ЮПФЗ. Все это свидетельствует о необычно сильной адвекции на юг вод АЦТ. Объясняются столь высокие аномалии тем, что 1992 г. – это год Эль-Ниньо. То же самое (и с похожими величинами аномалий) происходило в этом районе и в другие годы, отмеченные событием Эль-Ниньо (1983, 1987, 1995 и 1998 гг.), и только в эти годы.

Повышенная контрастность и высокая изменчивость, характерные для климатических колебаний после 1978 г., стали причиной появления большого количества сальп (*Salpa thompsoni*) в традиционных местах массового распределения криля. Это эпизодически наблюдаемое явление становится наиболее частым и регулярным в такие периоды высокой повторяемости взаимовнедрений контрастных масс в атмосфере и океане. Сальпа – типичный представитель вод АЦТ. Таким образом, случаи высокого количества сальпы в районах массовых скоплений криля (большой частью, в пограничных районах

между высокоширотными водами и водами АЦТ) можно считать примерами повышенного влияния вод АЦТ.

Район моря Содружества относится к высокоантарктической природной системе (ВАПС). Воздействие меридиональных переносов в атмосфере и в океане в период Эль-Ниньо 1982/83 гг. характеризовалось, согласно рис. 10, усилением переноса в направлении юг – север. Это привело к выносу криля от материкового склона на север и прекращению его проникновения в залив Прюдс. Уловы упали почти в 3 раза (до 47 тыс т) по сравнению с предыдущими 1981 (132 тыс т) и 1982 гг. (120 тыс т), в дальнейшем продолжая снижаться и к 1985 г. практически сошли на нет. Промысел в одном из основных районов на несколько лет прекратился в силу отсутствия скоплений.

Характерно, что в смежном с востока районе морей Дейвиса, Моусона и Д'Юрвиля в 1983 г., напротив, был достигнут один из максимальных выловов (более 27 тыс.т криля) [CCAMLR. Statistical Bulletin. 1990] за все годы промысла, т.е. наблюдалась обратная картина, характеризующая обилие криля в этом районе. Скопления криля там обычно также располагаются вблизи материкового склона. Однако, в данном случае, согласно рис.10, вероятно влияние меридионального переноса в направлении север – юг, что, естественно, привело к уплотнению скоплений у склона. Наконец, в районе о-вов Баллени, одном из наиболее благоприятных для образования летом крупных и плотных скоплений криля вне материкового склона, должны были сформироваться условия, благоприятные для выноса туда высокоширотных вод (см. рис. 10), богатых крилем. Судя по статистике вылова, летом 1983 г. здесь было поймано также максимальное количество криля – 4718 т. [CCAMLR. Statistical Bulletin. 1990].

На основании имеющихся данных по распределению скоплений криля можно полагать, что при усилении переноса с севера на юг те высокоширотные скопления, которые располагаются, как правило, вдоль материкового склона (система ВАПС) станут более плотными. Для скоплений криля, располагающихся в области ЗА, т.е. в районах западного шельфа и склона Антарктического п-ова, Ю. Шетландских о-вов, южной части моря Скоша (ВФЗА) и о-ва Ю. Георгия, подобные ситуации (т.е. усиление переноса с севера на юг), напротив, отнюдь не благоприятны. Создаются условия, препятствующие выносу рачков с юга, что приводит к снижению их обилия на

участках, где существует наилучшее сочетание факторов для концентрирования криля.

В случае усиления переноса масс с юга на север картина меняется на противоположную.

В результате зависимость обилия криля, например, в районе Ю. Шетландских о-вов от температуры воды в соответствующем этому району кластере 8 очевидна. При повышении температуры вылов криля снижается и, напротив, ее понижение ведет к росту обилия криля. То же самое можно сказать и о районе о-ва Ю. Георгия, колебания обилия криля в котором находятся в хорошей прямой связи с районом Ю. Шетландских о-вов ($r = 0.60$). В районе Ю. Оркнейских о-вов колебания количества криля демонстрируют обратную корреляционную связь с районом Ю. Шетландских о-вов. Это результат того, что Ю. Оркнейские о-ва, расположенные на границе морей Скоша и Узделла, находятся под сильным влиянием обширной динамической системы последнего, т.е. относятся к области ВАПС.

Хорошим показателем климатических изменений служит также величина распространения дрейфующего льда. Естественно, она находится в причинно-следственной связи с колебаниями индексов ЮК, ААК и показателей Эль-Ниньо. Причем, как было показано выше, колебания распространения льда достаточно убедительно соответствуют выделенным природным системам. Конечно, наиболее заметно это в смежных областях ВТ и ЗА. Весьма показательны сопоставления изменений индексов ЮК, ААК и показателей Эль-Ниньо с аномалиями распространения льда на разных меридианах. Так, на 130° з.д. при росте показателя Эль-Ниньо3.4 происходит уменьшение распространения льда и наоборот. На 80° з.д. картина обратная, т.е. рост показателя Эль-Ниньо приводит к увеличению распространения льда (рис. 12).

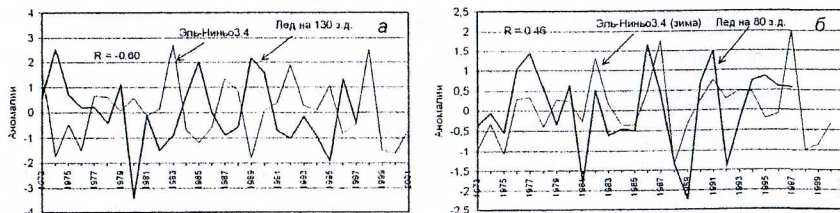


Рис. 12. Аномалии показателя Эль-Ниньо 3.4 и аномалии зимнего распространения льда на 130° з.д. (а), 80° з.д. (б).

Отмеченный выше противофазный ход колебаний обилия криля в районах Ю. Шетландских о-вов и Ю. Оркнейских о-вов плюс волновой характер распространения льда с квазиустойчивым положением узлов дают возможность при их сопоставлении (колебания обилия криля в двух разных районах и колебания распространения льда на меридианах, кратных 10°) подтвердить тесную связь климатических процессов (выраженных в данном случае колебаниями распространения льда) с биологическими явлениями в популяциях, относящихся к разным природным системам (рис. 13).

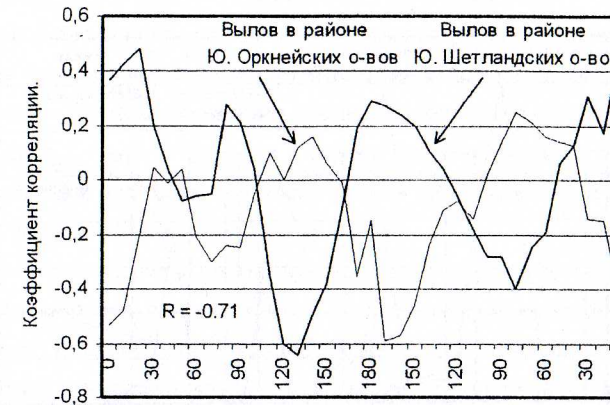


Рис. 13. Изменения коэффициента корреляции между выловом криля в подрайонах 48.1 и 48.2 и аномалиями зимнего распространения льда на меридианах, кратных 10° долготы.

Итак, одни и те же глобальные процессы, выражаемые изменениями индексов ЮК, ААК и показателей Эль-Ниньо, могут вызывать противоположную реакцию океанологических полей в разных климатических областях Антарктики, благодаря воздействию стоячей волны (при условии развития зонально-волнового типа атмосферной циркуляции). В свою очередь одни и те же изменения условий среды могут быть благоприятны для одной части гиперпопуляции криля и неблагоприятны для другой.

Климатические колебания и воспроизводство криля.

Успех воспроизводства криля складывается из успеха самого нереста (плодовитости) и выживаемости икры и личинок. С целью изучения особенностей воспроизводства популяции криля воспользуемся такой характеристикой как PCR (per capita recruitment) – индекс так называемого пополнения на особь криля [Hewitt, 2000] для района Ю.Шетландских о-вов.

Колебания индекса PCR исключительно интересны. Они имеют характер четко выраженных пульсаций, связанных с развитием событий Эль-Ниньо. В двадцатилетнем ряду очевидны четыре высокоурожайных года: 1981 (+1982), 1986, 1991 и 1995 гг. (рис. 14). Годы между ними и после 1995 г. (1996–1998 гг.) характеризовались очень низким пополнением. Продолжительность таких периодов составляла 3–4 года. Мы видим, что все периоды низких PCR-индексов начинались в годы Эль-Ниньо. Напротив, ни один год из ряда высокоурожайных не падает на эти события.

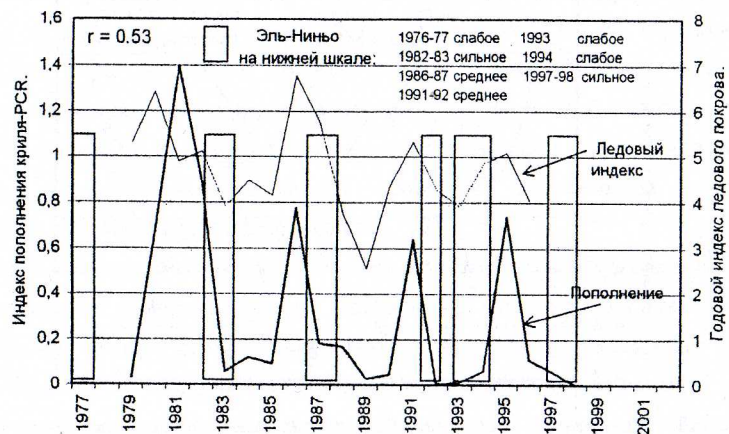


Рис. 14. Колебания индекса PCR и годового индекса ледового покрова у Антарктического п-ова.

Из условий, способствующих нересту и развитию личинок, можно выделить следующие: 1) расположение скоплений в традиционных местах, т.е. в местах, наиболее благоприятных для их образования; 2) большое количество этих скоплений; 3) наличие круговоротов, прежде всего, топогенной природы (см. п.1); 4) устойчивость круговоротов и, соответственно, скоплений (см. п.3); 5) отсутствие теплых внедрений с севера на склон и шельф; 6) отсутствие серьезных пищевых конкурентов, прежде всего, сальп (см. п.5); 7) наличие достаточно развитого ледового покрова, обеспечивающего большую выживаемость личинок подо льдом за счет облегчения доступа к пище и снижения риска выедания хищниками.

Все перечисленные признаки отражают реакцию экосистемы на холодные сезоны, т.е. усиление меридионального переноса в направлении с

юга на север. По существу, так и происходит. Годовой индекс ледового покрова у западного побережья Антарктического полуострова [Hewitt, 1997] демонстрирует четыре максимума: 1980, 1986, 1991 и 1995 гг. Сюда же можно отнести годы 1981 и 1982, когда величина индекса ледового покрова была на уровне 1991 и 1995 гг. Перечисленные годы совпадают с максимальными величинами PCR – индекса пополнения криля в том же районе.

Роль климатических колебаний в межгодовых и многолетних изменениях размера популяций пингвинов (Императорских и Адели).

Одним из главных факторов, непосредственно влияющих на воспроизводство пингвинов, является распространение морского льда. И пингины Адели (*Pygoscelis adeliae*), и Императорский пингвин (*Aptenodytes forsteri*) тесно связаны со льдом в процессе всей жизни и особенно в период размножения. Лед в данном случае рассматривается как фактор, способствующий или препятствующий добыче пищи (конечно, в случаях, когда она есть вообще в пределах кормовых полей).

Конечно, колонии исторически располагались именно там, где доступ к пище был наиболее гарантирован. Так что некоторые катастрофические для отдельных колоний пингвинов события, произошедшие в последние десятилетия, свидетельствуют о развитии в настоящее время скорее неблагоприятной климатической эпохи. Правда, нужно добавить, что отрицательное воздействие условий среды не повсеместно. Более того, оно может менять знак реакции на противоположный в другом (даже смежном) районе. Приведу несколько примеров.

Линейные тренды изменчивости числа размножающихся пар пингвинов Адели в районе моря Росса и изменчивости давления в высокоширотном кластере 17 демонстрируют противоположную направленность (рис.15). Это указывает на то, что с ростом индекса ААК (ход которого противоположен изменению давления в кластере 17) происходит увеличение числа размножающихся пар пингвинов. То есть переход в конце 70-х годов к эпохе обострения контрастов, увеличения изменчивости в Антарктике оказался благоприятным фактором, вызвавшим популяционный рост пингвинов Адели в море Росса. Эпоха повышенных величин индекса ААК – это эпоха развития зонально-волнового типа атмосферной циркуляции, характеризующегося в данной области (ЗТ на рис. 10), большей частью, меридиональной направленностью переноса с севера на юг (при высоких индексах ААК), т.е.

ослабления распространения льда на север. При этом можно заметить, что после 1978 г., т.е. в эпоху, характеризующуюся, в частности, большей повторяемостью отрицательных аномалий летнего индекса ЮК, рост количества размножающихся пар пингинов стал особенно выраженным, увеличившись к настоящему времени более, чем в 3 раза по сравнению с 60-ми годами.

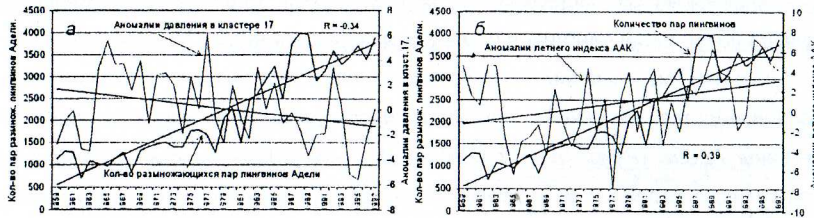


Рис. 15. Изменения размера популяции пингинов Адели моря Росса и колебания индекса ААК и аномалий давления на уровне моря в кластере 17.

В районе западного побережья Антарктического п-ова, напротив, произошло сильное уменьшение размера популяции пингинов Адели. Для популяции о-ва Анверс это связано, по-видимому, с известным потеплением и соответствующим сокращением зимнего и весеннего льда, столь необходимого пингвинам Адели для их зимнего существования. В результате в последнее десятилетие заметно снижение количества размножающихся пар на фоне ослабления ледового покрова. Вообще за последние 30 лет здесь произошли очень существенные популяционные изменения трех видов местных пингинов. Популяция пингинов Адели сократилась на 53%, а популяции пингинов чинстреп (полицейских) (*Pygoscelis Antarctica*) и пингинов папуа (*Pygoscelis parrisi*) (видов, ассоциирующихся со свободными ото льда антарктическими и субантарктическими водами) возросли практически в 5 раз, сопровождаясь заметным смещением на юг [Fraser, 2002]. В межгодовом плане реакция местной популяции пингинов Адели на распространение льда оказывается противоположной ее реакции при нормальных условиях, т.е. увеличение ледового покрова становится благоприятным фактором. Тем самым это противоречит реакции, которую демонстрирует популяция пингинов Адели в море Росса.

В результате можно заключить, что для популяций пингинов Адели вообще, вероятно, существует определенное оптимальное количество льда на разных этапах жизненного цикла. Колебания распространения льда как в сторону его сильного увеличения, так и в сторону сильного уменьшения ледового покрова приводят к отрицательному воздействию как на воспроизводство (прежде всего на выживаемость на ранних стадиях развития), так и на выживаемость взрослых особей.

Можно полагать, что оптимальное распространение льда, формируется, по-видимому, в период развития зонально-симметрично типа атмосферной циркуляции. Можно высказать предположение о том, что прогнозируемое близкое завершение эпохи контрастов, высокой интенсивности атмосферных процессов (в том числе и явлений Эль-Ниньо) приведет к ослаблению интенсивности потока вод АЦТ в тихоокеанском секторе Антарктики, к ослаблению влияния теплых глубинных вод на склоновые и шельфовые районы западного побережья Антарктического п-ова, к снижению температуры воды там и к восстановлению оптимального зимнего и весеннего ледового покрова, что, в свою очередь должно положительно сказаться на росте местной популяции пингинов Адели.

Сопоставление колебаний размера популяции пингинов Адели залива Адмиралти (о-в Кинг-Джордж) с общим выловом криля в районе Ю. Шетландских о-вов показывает неплохую положительную связь (рис. 16а), т.е. рост обилия взрослого криля сопровождается, как правило, увеличением размера популяции пингинов. Это служит дополнительным косвенным подтверждением вывода о росте местной популяции пингинов после зим с интенсивным распространением льда и ее уменьшении после зим со слабым его распространением. В первом случае, как было показано выше, в популяцию криля вливается успешное пополнение (за счет наличия мощного пищевого ресурса в виде криофильного фитопланктона подо льдом, способствующего повышению выживаемости и взрослых особей криля, и, главное, его личинок) и происходит рост обилия криля, основной пищи пингинов Адели. Зимы со слабым распространением льда имеют отрицательное воздействие на обе популяции (криль и пингины). В результате сопоставление с ледовыми данными, естественно, демонстрирует высокую

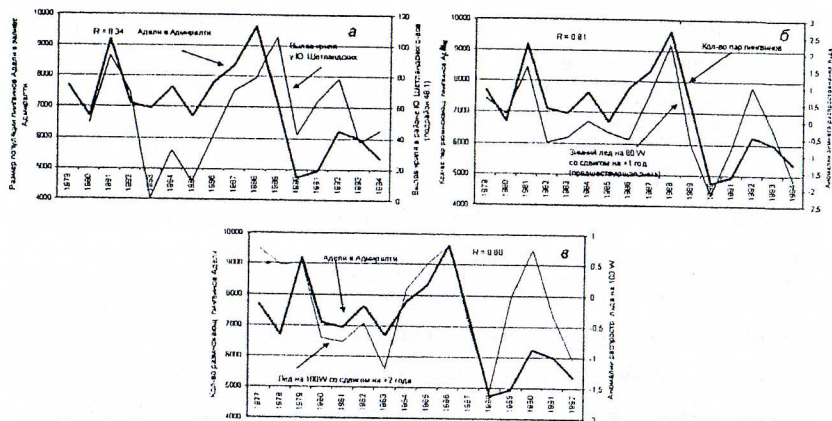


Рис. 16. Сопоставление количества пар размножающихся пингвинов Адели в заливе Адмиралти (о-в Кинг-Джордж, Ю. Шетландские о-ва) с выловом криля у Ю. Шетландских о-вов (а), и аномалиями зимнего распространения льда на разных меридианах (с временными сдвигами) (б, в).

коррелятивную связь (до +0.81) между количеством пар размножающихся пингвинов Адели залива Адмиралти и распространением льда предшествующей зимой (рис. 16,б).

Отмечаемое многими авторами смещение волны аномалий распространения льда с запада на восток в данном случае получает неплохое подтверждение. Выражается оно в высокой положительной связи распространения льда на 80–100° з.д. (т.е. в море Беллинсгаузена) при временном сдвиге на +2 года, а на 50–70° з.д. при сдвиге на +1 год с колебаниями размера популяции пингвинов Адели залива Адмиралти (рис. 16а,б). Это предполагает возможность прогностических разработок, связанных с предсказанием колебаний популяции пингвинов с 2–годичной заблаговременностью по данным о распространении зимнего льда в районе моря Беллинсгаузена или с еще большей оправдываемостью (но меньшей заблаговременностью) по распространению льда прошлой зимой в районе непосредственно у Ю. Шетландских о-вов.

Колебания ледовых условий играют также большую роль в изменениях выживаемости Императорских пингвинов и успехе их размножения, в конечном итоге в колебаниях размера популяции. В 1975–81 гг. в районе Земли Адели, где размещается одна из популяций Императорских пингвинов, наблюдалось практически непрерывное сокращение расстояния между кромкой льда (ее

зимним положением) и колониями пингвинов (с 420 км до 200 км). Это означает, что в этот период здесь превалировал перенос в направлении с севера на юг, который должен был сопровождаться повышением температуры и сокращением ледового покрова. Происходило это в период смены климатических эпох и формирования известного режимного сдвига 1977–78 гг. За этот период размер местной популяции Императорских пингвинов уменьшался столь же интенсивно и к 1982 г. количество размножающихся пар снизилось почти в 3 раза по сравнению с 1962–1975 гг. (рис. 17).

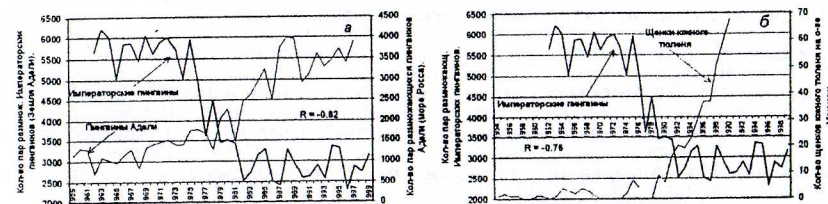


Рис. 17. Сопоставление изменений во времени размеров популяций Императорских пингвинов Земли Адели и пингвинов Адели моря Росса (а), размера популяции Императорских пингвинов и количества родившихся щенков южных тюленей на о-ве Макуори (б).

Различия в сроках размножения, расположения кормовых полей и доступности пищи для разных видов пингвинов, конечно, определяют соответствующие различия в их реакции на изменения условий среды, в конечном итоге различия в долгопериодных колебаниях размеров популяций. Они оказались весьма разительными (рис. 17) с высокой отрицательной корреляционной связью ($r = -0.82$). Причем наиболее резкие изменения в обоих случаях происходили во второй половине 70-х годов. В этой же связи, можно полагать, не случайно во второй половине 70-х годов началось увеличение с каждым годом пополнения популяции южных тюленей-котиков (*Arctocephalus*) на о-ве Макуори [Shaughnessy, Goldsworthy, 1993] (рис. 17).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Итак, мы рассмотрели основные положения концепции формирования природных систем в Антарктике, характеризующихся единой направленностью процессов в атмосфере, океане и биосфере. На фоне выявленных двух крупномасштабных природных систем, Высокоантарктической (ВАПС) и Низкоантарктической (НАПС), проявляются шесть климатических областей,

колебания в которых происходят с меняющимся знаком направленности процессов. Эти климатические области (по две в каждом из секторов, тихоокеанском, атлантическом и индоокеанском, с противоположным знаком) связаны с существованием так называемой стоячей волны колебаний, амплитуда которой меняется во времени. При этом волна либо сглаживается (зонально-симметричный тип атмосферной циркуляции), либо, напротив, усиливается (зонально-волновой тип). Согласно этим колебаниям меняется интенсивность воздействия волны на соответствующие климатические области. В первом случае амплитуда межгодовых колебаний давления на уровне моря, приземной температуры воздуха и поверхностной температуры воды уменьшается. Во втором случае амплитуда колебаний, напротив, возрастает в результате воздействия внедрений контрастных масс воздуха. Климатические колебания в Антарктике, естественно, тесно связаны с глобальными колебаниями, главными показателями которых служат индексы Эль-Ниньо - Южного Колебания (ЭНЮК) и Антарктического Колебания (ААК). Зонально-симметричный тип атмосферной циркуляции сопровождается, как правило, пониженным индексом ААК. Зонально-волновой тип, соответственно, формируется при повышенном индексе ААК. Снижение индекса ААК, т.е. общее повышение давления в высокоширотном поясе низкого давления и его понижение в поясе высокого давления в умеренных широтах (в конечном счете сглаживание контраста между этими альтернативными поясами), указывает на развитие в экваториальной тихоокеанской зоне процесса Эль-Ниньо, и сопровождается ростом температуры воды там. В эти годы в Антарктике формируется область положительных аномалий поверхностной температуры воды с характерными «очагами» в разных секторах. Наиболее ярко такое повышение температуры воды проявляется в центральной и восточной частях тихоокеанского сектора Антарктики. Высокие величины ААК, которые характеризуют обратный процесс, т.е. снижение давления в Антарктике и его рост в умеренных широтах (обострение горизонтального градиента давления между альтернативными поясами) сопровождаются, как правило, развитием явления, противоположного по знаку Эль-Ниньо (Ля-Нинья) с понижением температуры воды в экваториальной зоне Тихого океана. При этом в пределах НАПС наблюдается общее понижение температуры воды, что соответствует противоположной (относительно упомянутых выше теплых лет) фазе стоячей волны колебаний.

Обнаружены периоды продолжительностью около 19 лет, характеризующиеся положительными трендами в ходе индекса ААК и атмосферного давления в умеренных широтах и отрицательными в изменениях давления в Антарктике. Между этими периодами наблюдались режимные климатические сдвиги, происходившие в годы развития Эль-Ниньо 1963/64 гг. и 1982/83 гг. и демонстрирующие падение величины индекса (и аномалий давления в умеренных широтах) и рост аномалий давления в Антарктике.

В ходе летнего индекса ЮК очевиден режимный сдвиг 1977/78 гг., связанный с переходом к эпохе пониженных значений индекса. В ходе летнего индекса ААК можно заметить после 1977/78 гг. явное превалирование его высоких значений. Известный режимный сдвиг 1977/78 гг. хорошо проявляется в поле поверхностной температуры воды в Антарктике. До этой временной черты с 1949/50 гг. по 1977/81 гг. летняя температура характеризовалась очень слабой межгодовой изменчивостью. В дальнейшем (и по настоящее время) амплитуда колебаний температуры воды резко увеличилась. Эти изменения связаны со сменой в 1977/78 гг. эпохи пониженных значений летнего индекса ААК на эпоху их повышения, что является показателем перехода к преимущественно зонально-волновому типу атмосферной циркуляции. Последний, в свою очередь, ведет к активным взаимовнедрениям контрастных масс воздуха и к повышению изменчивости температуры воздуха и воды. Этому же периоду (после 1977/78 гг.) свойственно увеличение интенсивности Эль-Ниньо, прямо влияющей на степень прогрева и размер охваченной им акватории в тихоокеанском секторе.

Итак, можно сделать вывод, что последние два десятилетия в Антарктике сопровождаются пространственно-временной контрастностью распределения характеристик, увеличением их межгодовой изменчивости. В предыдущую климатическую эпоху наблюдался иной тип циркуляции (зонально-симметричный) с соответствующим ему ослаблением внедрений контрастных масс воздуха, более сглаженной пространственной картиной распределения характеристик, ослабленной межгодовой изменчивостью. Соответственно, разные климатические эпохи приводят к отличающейся реакции отдельных популяций животных в Антарктике. Современная эпоха, эпоха контрастов, естественно, способствовала резким колебаниям популяционных показателей некоторых видов животных. Наравне с показателями, свидетельствующими о росте некоторых популяций пингвинов (пингвины Адели в море Росса,

популяции пингинов чин-стреп и папуа в районе западного побережья Антарктического п-ова), существуют факты резкого сокращения размера популяций (пингины Адели в районе Антарктического п-ова, в районе о-ва Ватерлоо - Кинг-Джордж, Императорские пингины в районе Земли Адели) или сильной межгодовой изменчивости выживаемости птенцов пингинов Адели в районе о-ва Бешервез (море Содружества), включающей одну из самых сильных популяционных катастроф 1994/1995 гг., когда погибло почти все поколение народившихся птенцов. Характерно, что наиболее резкие количественные изменения крупных популяций Адели моря Росса и Императорских пингинов Земли Адели произошли в период известного климатического режимного сдвига 1977/1978 гг.

Наиболее важным звеном в пищевой цепи морской экосистемы Антарктики является антарктический криль. Локальные количественные колебания криля (или его доступность) регулируют популяционные изменения многих его потребителей, включая рыб, пингинов, летающих птиц, тюленей. Колебания обилия криля также демонстрируют пространственные контрасты согласно географическому положению скоплений и возможному воздействию меридиональных сдвигов северного или южного направлений. Подобные сдвиги в большой степени характерны для текущей климатической эпохи. Отсюда резкие колебания пополнений криля, связанные с соответствующими колебаниями плодовитости (зависящей от количества скапливающихся на нерестилищах зрелых рачков) и выживаемости личинок (в большой степени определяемой развитием ледового покрова зимой через обеспеченность пищей в виде криофильного фитопланктона). Для высокоширотной части гиперпопуляции криля, располагающейся, главным образом, в узкой присклоновой зоне, более благоприятен период, наблюдавшийся до 1977/78 гг., прежде всего, в силу своей стабильности, отсутствия сильных меридиональных сдвигов в атмосфере и в океане. Вероятно то же самое можно сказать и об участках, где криль выносится далеко на север, т.е. районах Ю. Шетландских о-вов и о-ва Ю. Георгия. Однако там очень благоприятные ситуации могут складываться и в климатическую эпоху, которая развивается после 1977/78 гг. и иногда характеризуется сильными меридиональными смещениями в направлении с юга на север. В то же время можно полагать, что в годы развития Эль-Ниньо высокой интенсивности (как в 1982/83 гг.) происходят процессы, оказывающие очень неблагоприятное воздействие на крилевую

популяцию в северных нерестовых зонах (районы Ю. Шетландских о-вов и о-ва Ю. Георгия) и даже в некоторых высокоширотных присклоновых районах.

Можно сказать, что в эпоху до 1977/78 гг. (в «спокойную» эпоху) большую роль в распределении криля играл его перенос в зональном направлении, обмен особями между разными группировками. Меридиональные воздействия были ослаблены. В такие периоды осуществляется более естественный процесс крупномасштабного дрейфа криля и снабжения (поддержания) одних циклических группировок особями смежных группировок. Обилие криля в результате становится более равномерным по акватории основы его ареала. В противоположную эпоху после 1977/78 гг. (эпоха «контрастов») это обилие более дифференцировано, разорвано на отдельные участки, более изменчиво.

Понятно, что высказанные положения, хотя и в большинстве своем логично вытекающие из анализа пространственно-временной структуры климатических колебаний в Антарктике, все же требуют дальнейших исследований. Прежде всего, это касается формирования достаточно длительных и репрезентативных рядов биологических данных. Необходимо более детальное изучение реакции каждой из локальных группировок криля на изменения условий среды. Представляется перспективным также уделить особое внимание изучению теплых глубинных вод, их распространения, трансформации, формирования локальных модификаций и, конечно, их временной изменчивости. Как было отмечено в работе, климатическая роль глубинных вод в Антарктике, по-видимому, исключительно велика. Эта водная масса, как некий аккумулятор тепла, при разных климатических условиях может выступать в качестве регулятора теплового состояния поверхностной водной массы с далеко идущими климатическими последствиями. Отмечена также ее несомненная биологическая роль, прежде всего, в распределении, переносе, использовании глубинных вод в сезонных проявлениях жизненного цикла отдельных представителей планктонного сообщества Антарктики (в частности, антарктического криля).

Сейчас трудно оценить возможные климатические последствия в Антарктике в случае продолжения тенденции к глобальному потеплению. В настоящий момент серьезное беспокойство может вызывать лишь район западного побережья Антарктического п-ова, где происходят очень существенные изменения многих компонентов местной экосистемы (атмосфера – поверхностный слой океана – глубинные воды – шельфовые ледники –

морской лед – планктонное сообщество – криль – пингвины Адели – пингвины чин-стреп и папуа– киты). По существу этот район может служить своеобразным полигоном, демонстрирующим возможные направления развития антарктических экосистем под влиянием явного потепления климата.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах автора:

1. О водных массах моря Скотия. // Труды ВНИРО. 1969. Т.66. С. 73-84.
2. О влиянии динамики вод на распределение *Euphausia superba* Dana в районе о-ва Южная Георгия. // Труды ВНИРО. 1972. Т.75. С. 107-117.
3. Дрейфовые течения в море Скотия. // Труды ВНИРО. 1974. Т.98. С.43-50.
4. Особенности горизонтальной циркуляции и распределение макрозоопланктона в приантарктических водах Атлантики. // Труды ВНИРО. 1976. Т.112. С. 50-56.
5. Особенности горизонтальной циркуляции вод в районе острова Южная Георгия. // Антарктика. М.: Наука. 1979. Вып.18. С.140-143.
6. Региональные особенности Антарктической поверхностной водной массы в юго-западной части атлантического сектора. // Антарктика. М.: Наука. 1979. Вып.18. С.134-139.
7. Особенности многолетней изменчивости гидрометеорологических характеристик в юго-западной части атлантического сектора Антарктики. // Труды ВНИРО. 1979. Т.136. С. 50-56.
8. Современные представления о крупномасштабной циркуляции вод Антарктики и пути массового дрейфа криля. // Труды ВНИРО «Биологические ресурсы антарктического криля». 1980. С.8-27.
9. Вторичные фронтальные разделы в западной части тихоокеанского сектора Антарктики. // Биолого-океанографические исследования тихоокеанского сектора Антарктики. М.: ВНИРО-ТИНРО. 1987. С.32-41.
10. Предварительный анализ гидрологической структуры вод вдоль разреза. // Отчет экспедиции 6-го рейса НИС «Академик Иоффе» в тихоокеанском секторе Антарктики по международной гидрофизической программе WOCE. 1992. Т.2. Ч.1. Москва. ИОРАН. С.15-34.
11. Дифференциация вод Антарктики с учетом их воздействия на распределение некоторых видов планктона и рыб. // Антарктика. М.: Наука. 1995. Вып.33. С.43-54.
12. Пространственная структура колебаний приземного атмосферного давления в Антарктике. // Арктика и Антарктика. 2002. 35(1). С.109-127.
13. Пространственная структура климатических колебаний поверхностной температуры воды в Антарктике. // Арктика и Антарктика. 2002. 35(1). С.128-149.
14. Масленников В.В. Климатические колебания и морская экосистема Антарктики. // М.: Изд-во ВНИРО. 2003. 295 с.
15. О роли климатических колебаний в распределении антарктического криля (*Euphausia superba* Dana) и изменчивости популяций некоторых его основных потребителей. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2003. Т. 74. С.103-129.
16. Положение и структура Полярной фронтальной зоны в западной части тихоокеанского сектора Южного океана. // Биолого-океанографические исследования тихоокеанского сектора Антарктики. М.: ВНИРО-ТИНРО. 1987. С. 19-32. (Соавторы Антипов Н.Н., Прямыков С.М.).

17. Структура поля геострофических течений в западной части тихоокеанского сектора Антарктики в летний сезон 1985/86 г. // Антарктика. М.: Наука. 1988. Вып.27. С.126-133. (Соавторы Антипов Н.Н., Прямыков С.М.).
18. Океанографические исследования Международной зимней экспедиции в круговорот Уэдделла на НЭС «Академик Федоров». // Информ. Бюл. РАН. 1994. № 118. С.24-32. (Соавторы Антипов Н.Н., Багрянцев Н.В., Клепиков А.В., Малек В.Н., Чугуй И.В.).
19. Океанологические условия летом 1982 г. в южной части моря Скоша – северной части моря Уэдделла. // М.: ВНИРО. 1983. С.38. (Соавтор Афанасьев Б.В.).
20. Структура гидрофизических полей атлантического сектора Южного океана и их влияние на планктонные сообщества. // Изд-во ОНТИ ВНИРО. 1986. 64 с. (Соавторы Багрянцев Н.В., Богданов М.А., Гурецкий В.В., Данилов А.И., Макаров Р.Р., Солянкин Е.В.).
21. Система течений и распределение вод разных модификаций в моря Космонавтов и Содружества. // Комплексные исследования пелагической экосистемы в море Космонавтов и море Содружества. Сб. трудов ВНИРО. 1988. С.16-42. (Соавторы Бибик В.А., Пелевин А.С., Полонский В.Е., Солянкин Е.В.).
22. Распределение *E. superba* Dana в связи с особенностями среды в морях Содружества и Космонавтов. // Комплексные исследования пелагической экосистемы в море Космонавтов и море Содружества. Сб. трудов ВНИРО. 1988. С.83-109. (Соавторы Бибик В.А., Пелевин А.С., Петрова Н.Г., Самышев Э.Э., Солянкин Е.В., Шевцов В.В.).
23. Изменчивость океанологических условий и некоторые закономерности распределения криля в районе западного побережья Антарктического полуострова. // Биологические ресурсы антарктического криля. М.: ВНИРО. 1980. С. 55-72. (Соавторы Богданов М.А., Солянкин Е.В., Попков В.В., Родионов С.Н.).
24. Планктон как индикатор переноса вод в Антарктике // Океанология. 1993. Т. 33. № 5. С.717-720. (Соавтор Воронина Н.М.).
25. О вертикальной составляющей скорости градиентно-конвекционного течения в море Скотия. // Труды ВНИРО. 1971. Т. 87. С. 7-14. (Соавтор В.П. Гаврилов).
26. О межгодовой и многолетней изменчивости распространения льда в атлантическом секторе Антарктики. // Антарктика. М.: Наука. 1979. Вып.18. С.113-117. (Соавтор Добромислов В.Н.).
27. Пространственная структура Южной Полярной фронтальной зоны севернее о-ва Южная Георгия. // Антарктика. М.: Наука. 1993. Вып. 31. С. 128-140. (Соавторы Зозуля С.А., Полонский В.Е.).
28. Изменчивость океанологических условий в районе ЮПФЗ севернее о-ва Ю. Георгия. // Электрон Карлсберга в Южной Полярной фронтальной зоне. Том I. М.: ВНИРО. 1990. С. 39-77. (Соавторы Зозуля С.А., Мандыч А.Т., Полонский В.Е., Суслов А.В.).
29. Роль океанологических факторов в распределении электроны Карлсберга. // Электрон Карлсберга в Южной Полярной фронтальной зоне. М.: ВНИРО. 1991. Т.2. С. 108-126. (Соавторы Зозуля С.А., Полонский В.Е.).
30. Градиентные течения в море Скоша. // Океанология. 1976. Т. 16. Вып. 5. С. 768-775. (Соавторы Зырянов В.Н., Гордиенко Г.П.).
31. Гидрологические условия, распределение и биологическое состояние антарктического криля в южной части моря Скотия. // Сб. «Антарктический криль. Особенности распределения и среда». 1983. М.: Лег. и пищ. пром-сть.

- С.85-98. (Соавторы Козлов А.Н., Лукашова Т.А., Спиридонов В.А., Шатохин Б.И., Юданов К.И.).
32. Изучение закономерностей распределения и дрейфа с течениями личинок *E. superba* в море Скотия и прилежащих водах. // Морская биология. 1975. № 3. С.37-43. (Соавтор Макаров Р.Р.).
33. Распределение и возрастной состав личинок эвфаузиид *Th. macrura* в связи с гидрологическими условиями в тихоокеанском секторе Антарктики. // Биология моря. 1980. № 4. С. 8-17. (Соавтор Макаров Р.Р.).
34. Исследования гидрологических особенностей вод Антарктики в связи с проблемой формирования их биопродуктивности// Труды ВНИРО. Комплексные рыбохозяйственные исследования ВНИРО в Мировом океане. 1987. С.43-65. (Соавторы Макаров Р.Р., Солянкин Е.В.).
35. Особенности количественного распределения и условия образования скоплений *Euphausia superba* Dana на примере некоторых районов атлантического и тихоокеанского секторов Южного океана.// Биологические ресурсы антарктического криля. М.: ВНИРО. 1980. С.114-145. (Соавторы Макаров Р.Р., Солянкин Е.В., Шевцов В.В.).
36. Фронтальные зоны как экологические границы в водах Антарктики. // Исследования Уэдделловского круговорота. М.: ВНИРО. 1990. С.90-125. (Соавторы Макаров Р.Р., Меньшенина Л.Л.).
37. Океанографические условия и региональные особенности сезонных сукцессий в планктоне прибрежных вод Антарктического полуострова. // Антарктика. М.: Наука. 1982. Вып.21. С.101-117. (Соавторы Макаров Р.Р., Мовчан О.А., Солянкин Е.В.).
38. Некоторые черты динамики вод в районе Ю. Фолклендских о-вов.// Труды ВНИРО. 1979. Т.136. С.57-59. (Соавтор Парфенович С.С.).
39. Исследование поверхностных течений моря Скоша.// Труды ВНИРО. 1971. Т.79. С.41-49. (Соавторы Парфенович С.С., Солянкин Е.В.).
40. Циркуляция и водные массы моря Космонавтов.// Антарктика. М.: Наука. 1986. Вып.25. С.176-185. (Соавторы Полонский В.Е., Солянкин Е.В.).
41. Положение зоны взаимодействия антарктических вод разных модификаций как показатель северной границы массового дрейфа антарктического криля // Антарктика. М.: Наука. 1988. Вып.27. С.134-141. (Соавтор Попков В.В.).
42. Основные результаты экосистемных исследований ВНИРО в Мировом океане за последние годы (1987-1990). // Сб. «Пленарные доклады VIII Всесоюзной Конференции по промысловой океанологии» (Ленинград, 1990). 1990. М.: ВНИРО. С.17-28. (Соавторы Сапожников В.В., Аржанова Н.В., Богданов М.А., Гершанович Д.Е., Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Налетова И.А., Родионов С.К., Федоров В.В.).
43. О межгодовых смещениях зоны взаимодействия вод моря Уэдделла и Антарктического циркумполярного течения // Антарктика. М.: Наука. 1979. Вып.18. С.118-122. (Соавтор Солянкин Е.В.).
44. Роль динамики вод в поддержании популяции *Euphausia superba* Dana моря Уэдделла// Океанология. 1980. Т.20. Вып.2. С.295-299. (Соавтор Солянкин Е.В.).
45. Океанологические фронты в Южном океане как основные места массовых скоплений миктофид и криля // Антарктика. М.: Наука. 1993. Вып.32. С.86-93. (Соавтор Солянкин Е.В.).
46. К исследованию происхождения особей *Euphausia superba* Dana, встречающихся в водах о-ва Южная Георгия.// Антарктический криль.

- Особенности распределения и среда. М.: Лег. и пищ. пром-ть. 1983. С.74-85. (Соавторы Солянкин Е.В., Спиридонов В.А., Сысоева М.В.).
47. Использование спутниковой информации при исследовании структуры океанических фронтов в Юго-Западной Атлантике.// Электрон Карлсберга в Южной Полярной фронтальной зоне. Том I. М.: ВНИРО. 1990. С. 122-141. (Соавтор Хомутов Е.В.).
48. О результатах работ НПС «Одиссей» по международной программе «Файбекс». // Рыбное хозяйство. 1981. № 12. С. 8-11. (Соавтор Юданов К.И.).
49. Patterns of fluctuations in the hydrological conditions of the Antarctic krill and their effect on the distribution of Antarctic krill. // In: Antarctic ocean and resources variability. D. Sahrhage (ed.). Berlin:Springer-Verlag. 1988. P. 209-213. (Coauthor Solyankin E.V.).
50. Condiciones oceanologicas de la formacion y distribucion de las concentraciones de *Myctophidae* en la zona frontal polar sur.// Resumenes de trabajos de investigación correspondientes al Quinto Simposio Cientifico de la Comision Tecnif Mixta del Frente Maritimo, 28 al 30 de noviembre. 1988. Mar del Plata. Argentina. P. 23-24. (Coauthor Zozulia S.A.).
51. Variability of population density of Antarctic krill in the Western Scotia Sea in relation to hydrological conditions. // In: Antarctic Ocean and Resources Variability. D. Sahrhage (ed.), Berlin: Springer – Verlag. 1988. P. 231-236. (Coauthors Makarov, R.R., Solyankin, E.V., Spiridonov, V.A. and Yakovlev, V.N.).
52. The ecological peculiarities, stocks and role of *E. Superba* in the trophic structure of the Antarctic ecosystem.// Selected Scientific Papers, 1982-1984, Part II. 1985 P.391-505. (Coauthors Lubimova, T.G., R.R. Makarov, V.V. Shevtsov, K.V. Shust).
53. Ecology of larval development of the Crustacean *Euphausia superba*. Change in dominant larval forms as a function of environmental conditions.// Marine Ecology. 1981. Vol.4. P.265-271. (Coauthor Makarov, R.R.).
54. Vertical distribution of *Euphausiid* larvae.// BIOMASS Newsletter. 1981. Vol.3. № 1. P.6. (Coauthor Makarov, R.R.).