

УДК 574.55:639.28 (99)

**Временной и пространственный спектр колебаний общей продуктивности вод антарктического циркумполярного пояса\****В. В. Масленников, К. В. Артамонова, Л. А. Духова*

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГУП «ВНИРО», г. Москва)  
e-mail: vvmaslen@vniro.ru

Рассмотрена временная и пространственная изменчивость общей продуктивности антарктических вод в зависимости от климатических условий. Установлены благоприятные и неблагоприятные периоды формирования промысловых скоплений антарктического криля, одного из важнейших промысловых объектов, являющегося основным звеном пищевой цепи в Антарктике. Показана пространственная неоднородность в распределении скоплений криля. Установлены гидрохимические показатели высокопродуктивных «оазисов» в антарктических водах и очагов плотных шельфовых вод на материковом склоне, обостряющих Склоновый фронт, формирующий циркумполярный пояс высокой рыбопродуктивности.

**Ключевые слова:** продуктивность, антарктические воды, климатические индексы, временная и пространственная изменчивость, криль, гидрохимические характеристики.

**ВВЕДЕНИЕ**

Как известно, основным фактором, лимитирующим процесс фотосинтеза в полярных районах, является свет. Поэтому весенне-летний сезон в высоких широтах Антарктики (в районе приматериковых морей) характеризуется максимальным количеством продукции фитопланктона [El-Sayed et al., 1983], биогенных веществ здесь достаточно. Последний факт связан как с общей тенденцией к подъёму глубинных вод в дивергентных зонах Южного океана (так называемая Антарктическая дивергенция, или центральные зоны приматериковых циклонических круговоротов), так и с вертикальной зимней циркуляцией на шельфах циркумполярных морей.

Соответственно, здесь наблюдаются пространственные максимумы содержания фосфатов, нитратов и кремния, сопоставимые с их содержанием в наиболее богатых питательными солями регионах Мирового океана, т.е. зонах апвеллингов в тропических восточных частях океанов. На отдельных участках шельфа и материкового склона весной и в начале лета происходит известная вспышка цветения фитопланктона, связанная с формированием здесь так называемых «оазисов» [Макаров и др., 1987] — участков интенсивного прогрева поверхностного слоя вод, образования резкого сезонного пикноклина (прогрев плюс распреснение за счёт таяния дрейфующего льда) и, наконец, большого количества

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-05-31148.

солнечной радиации в условиях практически незаходящего солнца. Этот процесс опережает по времени наступающую с севера на юг «фенологическую волну». Анализ распределения гидрохимических показателей в поверхностных водах показал, что летний процесс цветения фитопланктона сопровождался потреблением биогенных элементов и довольно значительным снижением их содержания в поверхностных водах. Так, при фоновых высоких концентрациях биогенных элементов в осенне-зимний сезон (растворённого кремния — 60–90  $\mu\text{M}$ , минерального фосфора — 1,9–2,1  $\mu\text{M}$ , нитратного азота — 26–29  $\mu\text{M}$ ), в летний период их величины уменьшались иногда практически до нуля [Антипов и др., 2007, 2009, 2013]. Оценка продуктивности вод показала, что моря Содружества, Амундсена и Беллинсгаузена в летний период можно отнести к высокопродуктивным районам Мирового океана. И всё же уровень первичной продуктивности антарктических вод в целом можно отнести к среднему между обширными олиготрофными тропическими частями океанов и высокопродуктивными участками океанических шельфов. Такой уровень продукции, однако, обеспечивает существование огромных масс гидробионтов Антарктики (и, главным образом, антарктического криля *Euphausia superba* Dana).

Итак, весной—летом в районе шельфа и материкового склона Антарктиды происходит накопление органического вещества, которого должно хватить и на холодный период года. Интенсивный откорм на всех уровнях трофической цепи, от планктона до крупных рыб, тюленей, гигантских кальмаров, кашалотов и, наконец, усатых китов, замыкающих самую короткую пищевую цепь (фитопланктон — эуфаузииды — киты), — характерная черта функционирования антарктической экосистемы. Для неё также характерны большие межгодовые и долгопериодные изменения под влиянием климата. Представление результатов изучения возможного воздействия климатических колебаний в высоких широтах на характеристики общей продуктивности (главным образом на примере антарктического криля) в разных районах Антарктики — цель данной работы.

#### ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ МАССОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КРИЛЯ В АНТАРКТИКЕ

Прежде чем начать анализ характера пространственных изменений обилия антарктического криля, рассмотрим некоторые особенности его природного распределения. Основной его чертой является наличие крупных группировок криля (субпопуляций), приуроченных к развивающимся вблизи приматериковых морей циклоническим круговоротам, являющимся основой ареала криля. Таким образом, криль относится к высокоширотным видам антарктического макропланктона. Вынос рачков на север происходит с западными ветвями циклонов. Насколько далеко он произойдет, зависит от развития этих ветвей циркуляции. Северной границей массового дрейфа криля служит Вторичная фронтальная зона Антарктики (ВФЗА). Выносы за её пределы можно считать стерильным или нестерильным выселением [Макаров, Спиридонов, 1993]. Максимальный вынос отмечен в западной части атлантического сектора (в районы севернее о-ва Ю. Георгия и о-ва Буве). На остальной акватории он относительно невелик, а в некоторых из морей ограничен участками материкового склона. Часть криля проникает на шельфы некоторых из морей, благодаря течениям, связанным с подводными ложбинами, секущими склон и шельф. Большую роль в этом процессе играют тёплые глубинные воды, проникающие в шельфовую зону.

Криль — животное стайное. Поэтому большую часть жизни рачки проводят в разного размера и разного биологического предназначения стаях-роях. А вот объединение этих биологических форм в концентрации и крупные промысловые скопления зависит уже от динамики вод, от наличия на пути дрейфа криля стабильных вихревых образований. При этом наиболее существенную роль играют, конечно, вихри топографической природы. Вот почему главным промысловым районом является район 48 (по классификации CCAMLR), а конкретнее 48.1 — район Ю. Шетландских о-вов, 48.2 — район Ю. Оркнейских о-вов и 48.3 — район о-ва Ю. Георгия. Именно здесь наблюдается исключительно благоприятное сочетание факторов, влияющих на успех

формирования скоплений: наличие Вторичной фронтальной зоны Антарктики (как зоны пространственной неустойчивости, формирования вихрей и круговоротов) и её расположение над или вблизи островных шельфов и склонов, а также подводного поднятия Южно-Английской гряды (как фактора формирования так называемых топографических вихрей, отличающихся постоянством своего положения).

Вторым по значимости районом массового распределения криля исторически остаётся море Содружества и залив Прюдс (58.4.2). В настоящее время промысел там не ведётся из экономических соображений. Скопления формируются в узкой присваловой зоне и в заливе Прюдс.

В тихоокеанском секторе ранее выделялся в промысловом отношении район о-вов Баллени и о-ва Скотта (88.1). Перспективны также узкие зоны над материковым склоном (вблизи бровки шельфа) в районах морей Беллингаузена и Амундсена, а также Дейвиса, Моусона и Д'Юрвиля.

Мы видим, что расположение массовых скоплений криля носит циркумполярный характер [Парфенович, 1982]. В количественном отношении эти районы, естественно, сильно отличаются друг от друга. Однако, в качестве кормовой базы криля достаточно для поддержания интенсивной жизнедеятельности на более высоких трофических уровнях. Хотя колебания неизбежны, и они, конечно, вызывают изменения численности популяций потребителей, иногда весьма существенные. В связи с этим нужно отметить, что мы придерживаемся мнения о том, что заметные колебания биомассы криля, приуроченного к промысловым скоплениям в традиционных местах концентрирования, связаны, скорее всего, с особенностями его распределения, чем с изменениями общего обилия [Riddle et al., 1988; Sahrhage, 1988; Масленников, 2003]. В свою очередь, серьёзные изменения в распределении рачков, естественно, определяются, прежде всего, соответствующими колебаниями переноса масс в атмосфере и океане в меридиональном направлении. Это результат общей океанографической и биологической зональности Антарктики и, в частности, квазизонального расположения ВФЗА и других антарктиче-

ских фронтов, а также участков обилия криля, его нереста и массовых скоплений. Колебания в направленности меридионального переноса масс в наибольшей степени выражены в восточной части тихоокеанского и в западной части атлантического секторов Антарктики, т.е. там, где располагаются основные структурные единицы гиперпопуляции криля — тихоокеанская и уэдделломорская. На остальных участках циркумполярного крилевого пояса эти колебания выражены в меньшей степени в силу меньшей амплитуды колебаний раздела между антарктическим циркумполярным климатическим поясом и смежным с ним с севера климатическим поясом умеренных широт [Масленников, 2003]. Данный раздел имеет вид стоячей волны (т.е. с географически фиксированными узлами) с волновым числом 3. Это означает, что в каждом из трёх секторов Антарктики формируются по 2 участка, характеризующихся противоположным знаком колебаний (прежде всего, направленности переноса масс). Используя данные по распространению морского дрейфующего льда, мы установили границы между этими крупными регионами с однонаправленной реакцией на разного рода крупномасштабные климатические колебания [Масленников, 2003]. Исследование проводилось также с учётом пространственного распределения кластеров в полях температуры воды и приземного давления, анализа корреляционных матриц распределения коэффициента корреляции между индексами Южного Колебания (ЮК), 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. Географическое положение выделенных границ выглядит следующим образом: 10° в.д. — 60° в.д.; 60° — 100° в.д.; 100° — 150° в.д.; 150° в.д. — 140° з.д.; 140° — 80° з.д.; 80° з.д. — 10° в.д.

Можно предположить, что аналогично, т.е. с соответствующим знаком, будут происходить изменения в локальных экосистемах, включённых в каждый из этих регионов (конечно, с учётом локальных особенностей воздействия условий среды на разных представителей животного

мира). С учётом такой биологической направленности колебаний выделенные районы можно характеризовать как природные системы.

**ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОБИЛИЯ КРИЛЯ В ТРАДИЦИОННЫХ МЕСТАХ ЕГО НЕРЕСТА И ПРОМЫСЛА.** Численность и биомасса криля в традиционных местах его массового распространения может претерпевать значительные колебания (иногда вплоть до полного исчезновения скоплений). Это объяснимо как раз с точки зрения воздействия направленности и интенсивности меридионального переноса масс в атмосфере и океане. Сильное ослабление переноса с юга на север может значительно уменьшить объём выноса рачков в места, где всегда создаются благоприятные условия для их концентрирования. В частности, это районы ВФЗА к западу от Антарктического п-ова, Ю. Шетландских о-вов, южной части моря Скоша, Ю. Оркнейских о-вов. Уменьшение выноса зрелых рачков сюда неизменно приведёт к снижению воспроизводства в данный сезон. Естественно, в эти же годы уменьшается распространение дрейфующего льда. Отсутствие льда в период достижения личинками стадии калиптопис и фурцилия ведёт к дефициту пищи осенью-зимой. Основу этой пищи составляет как раз криофильный фитопланктон, развивающийся на нижней поверхности льда. В результате резко снижается пополнение криля. И, наконец, иногда наблюдаемое в этих условиях внедрение с севера сальп ведёт к сильнейшей конкуренции в питании фитопланктоном.

Напротив, усиление меридионального переноса масс с юга на север — исключительно благоприятный фактор, способствующий заполнению взрослыми рачками традиционных участков формирования скоплений со всеми вытекающими последствиями — обеспеченность пищей при отсутствии сальп, массовый нерест, успешное развитие личинок в условиях большого количества дрейфующего льда осенью-зимой, хорошее пополнение и, наконец, благоприятная промысловая обстановка.

**Климатические факторы изменчивости условий распределения антарктического криля.** Наиболее активными в Антарктике

в аспекте взаимодействия с другими климатическими поясами (вплоть до экватора) являются восточная часть тихоокеанского и западная часть атлантического секторов. Эти зоны являются своеобразным окном в условно изолированную циркумполярную систему. Именно здесь наблюдается выраженная взаимосвязь высокоширотных и умеренных масс в атмосфере и океане, проявляющаяся, в частности, в чёткой реакции антарктических вод на изменения, происходящие в экваториально-тропической зоне Тихого океана [Котенёв и др., наст. сборник]. Особенно это характерно для периода климатической эпохи так называемой зонально-волновой циркуляции. Климатическая реакция на события Эль-Ниньо — Ла-Нинья в восточной части тихоокеанского сектора Антарктики однозначна: повышение температуры воды на экваторе при развитии Эль-Ниньо сопровождается также повышением температуры в Антарктике, а при развитии Ла-Нинья — понижением температуры воды на экваторе сопровождается, соответственно, понижением температуры в Антарктике. Естественно, наиболее ярко это проявляется в годы формирования сильных событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Так, в сезон Эль-Ниньо 1982—1983 гг. аномалия летней температуры в высоких широтах тихоокеанского сектора превышала  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 1). Это был тот редкий случай, когда именно в основных районах формирования скоплений криля (т.е. там, где существуют достаточно крупные циркуляционные ячейки), их практически не было. В районе моря Содружества промысел прекратился вообще. В период одного из самых сильных зафиксированных явлений Ла-Нинья 2010—2011 гг. отрицательные аномалии температуры воды в высоких широтах достигали величин  $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 2). Отрицательные аномалии в данном случае являются показателем усиления общего переноса масс в направлении с юга на север. Последствия такого явления рассмотрены выше. Кстати, именно в промысловые сезоны 2009/2010 и 2010/2011 гг. были достигнуты максимальные за последние 20 лет объёмы облова криля.

Итак, мы установили, что существует последовательная связь между климатической ситуацией в приэкваториальном районе

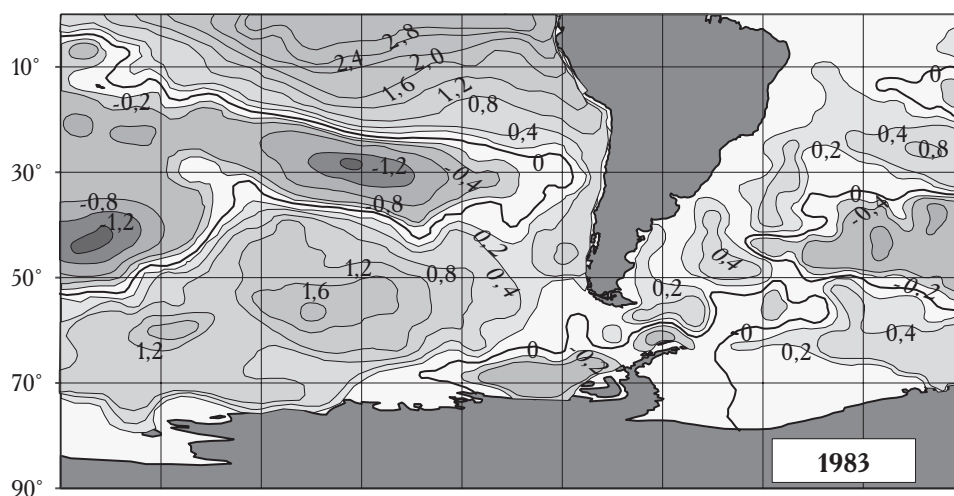


Рис. 1. Распределение аномалий температуры воды летом 1982–1983 гг.

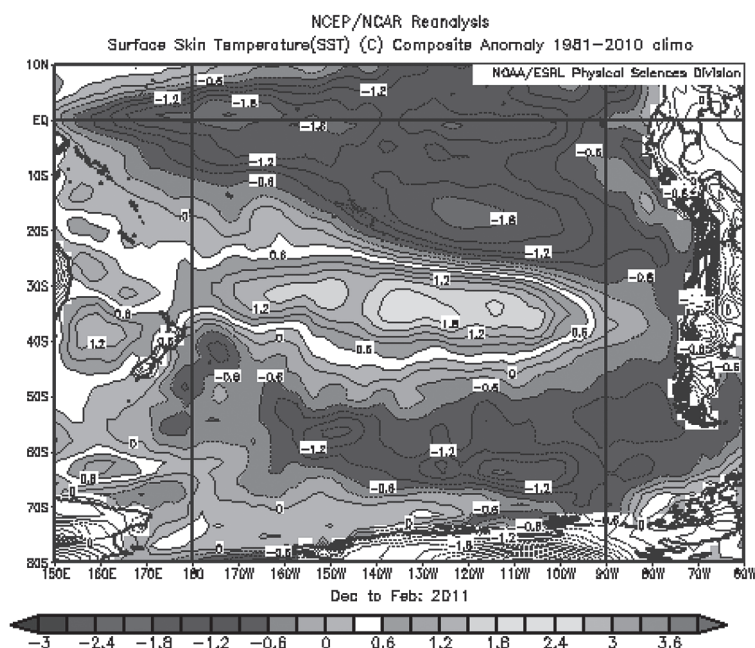


Рис. 2. Распределение аномалий температуры воды летом 2010–2011 гг.

(Эль-Ниньо — Ла-Нинья), поверхностной температурой воды в восточной части тихоокеанского сектора Антарктики, меридиональной направленностью общего переноса масс (юг-север, север-юг), распространением дрейфующего льда, количеством рачков, выносимых на традиционные места концентрирования и нереста, воспроизводством криля и его пополнением. С использованием данных по распространению льда [Hewitt, 1997] и индексу пополнения криля [Hewitt, 2000] в районе Ан-

тарктического п-ова нами была выявлена тесная связь между ними (рис. 3) [Масленников, 2003]. Это объясняет пульсационный характер в межгодовой изменчивости величины пополнения криля и подтверждает представленную выше логически обоснованную концепцию воздействия климатических колебаний на обилие и воспроизводство криля (прежде всего, через его распределение). Кстати, согласно нашей концепции, выявленные провалы в пополнении криля в дальнейшем будут сглаживаться, т.е.

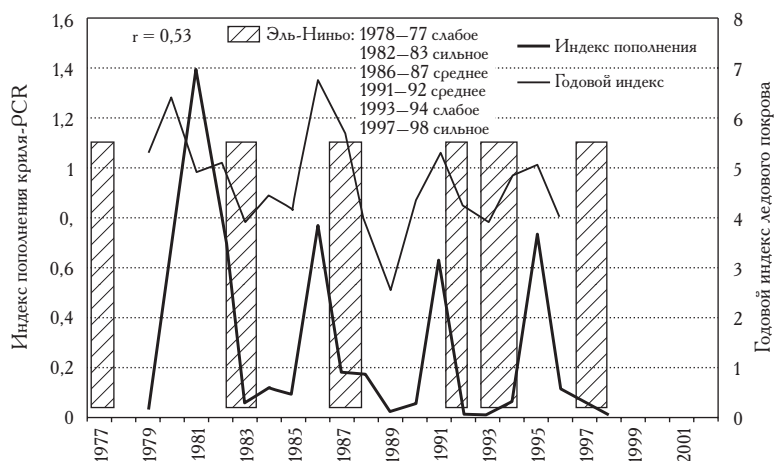


Рис. 3. Колебания индекса пополнения криля и годового индекса ледового покрова у Антарктического п-ова. Столбиками показаны события Эль-Ниньо

не будут выглядеть столь катастрофично. Хотя мы полагаем, что и в прошедшую эпоху пополнение всё же компенсировалось нерестом особей, не добравшихся до мест концентрирования и дрейфующих южнее в свойственных им природных агрегациях меньшего размера. Но на промысловой ситуации факт их отсутствия в традиционных местах скапливания, конечно, сказывался в худшую сторону в эти сезоны.

**Ретроспектива временной изменчивости климатических показателей, прогноз на первую половину 2014 г. и вероятное развитие событий на ближайшие годы.** В свете происходящих в настоящее время существенных перемен в климатической системе южного полушария рассмотрим ход изменений летнего (лето южного полушария) индекса Южного Колебания (ЮК) (рис. 4). На графике видны временные периоды, эпохи с определённым характером развития процессов в экваториально-тропическом районе. Период с 1953 по 1977 г. можно отнести к «равновесным», когда относительно слабые явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья периодически сменяли друг друга. Второй период, с 1978 по 2007 г., явно характеризовался превалированием пониженных величин индекса (что означает повышенную вероятность развития событий Эль-Ниньо, т.е. тёплой фазы процесса). Неудивительно, что именно в этот период наблюдались самые сильные в истории явления Эль-Ниньо (можно выделить четыре, из которых два занима-

ют 1 и 2 место в иерархии этих событий — 1982/83 и 1997/98 гг.). События Ла-Нинья наблюдались в этот период редко и были весьма слабыми. И, наконец, с 2007 г. началась новая эпоха, характеризующаяся высокими величинами индекса ЮК, т.е. повышенной повторяемостью событий Ла-Нинья (холодной фазы процесса). Эта эпоха уже проявила себя в формировании двух очень сильных явлений Ла-Нинья. В той или иной степени подобную картину мы наблюдаем и в настоящее время, судя по самым последним сведениям о ситуации, складывающейся в тихоокеанском регионе (рис. 5).

Что же ожидается в дальнейшем? Обобщив данные многочисленных прогностических разработок американских исследователей (<http://www.esrl.noaa.gov/psd>), мы пришли к выводу, что до мая 2014 г. включительно максимальная вероятность события Эль-Ниньо составляет всего лишь 19%, события Ла-Нинья — 26% и нейтрального состояния — 55–73%. Примерно тот же сценарий ожидается и в дальнейшем, согласно прогнозу тенденции развития экваториальных процессов (превалирование нейтрального состояния, вероятность развития сильных событий Ла-Нинья и эпизодические проявления слабых событий Эль-Ниньо).

Существуют два источника снабжения крилем рассматриваемого района: с юго-запада из района моря Беллингаузена и западного побережья Антарктического полуострова (далее на восток — северо-восток на участки 48.1,

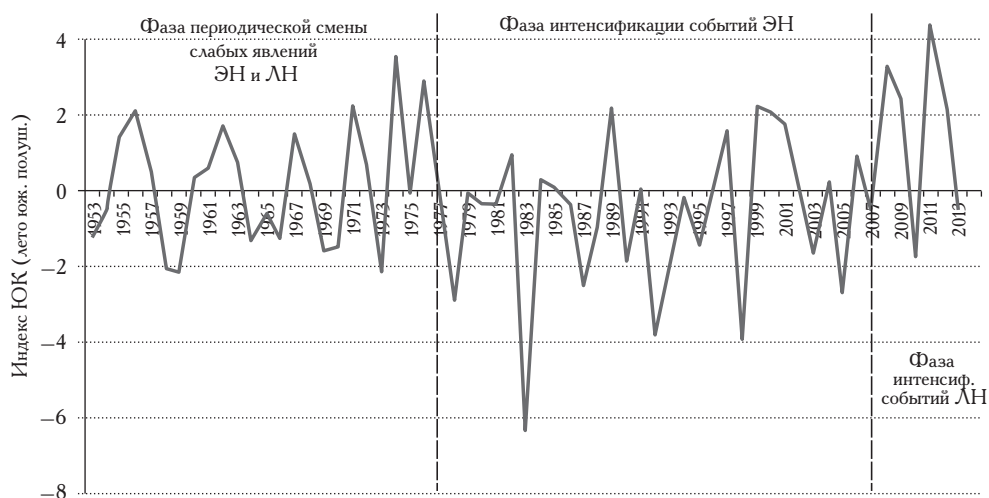


Рис. 4. Изменения летнего (лета южного полушария) индекса ЮК

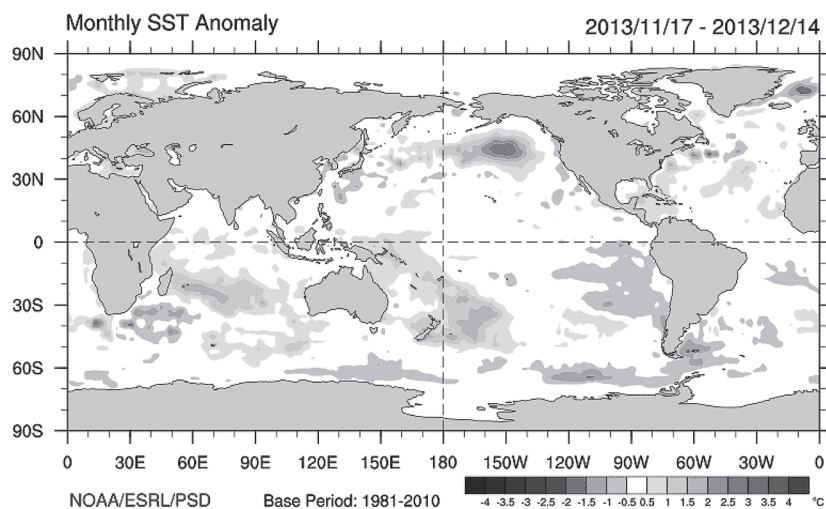


Рис. 5. Распределение аномалий ТПО в период 17.11–14.12.2013 г.

48.2 и 48.3) и с юга из района моря Уэдделла (далее на северо-запад на участок 48.1 и на север на участки 48.2 и 48.3). Такое разнообразие источников снабжения взрослым крилем служит причиной сохранения общего запаса на уровне, более или менее отвечающем соответствующему климатическому состоянию в районе. Общий вылов криля (рис. 6), державшийся с 2000 по 2007 г. в пределах 105–125 тыс. т, резко возрос в 2008 г. до 156 тыс. т и с тех пор (за исключением 2009 г. — 127 тыс. т) держится на уровне выше 150 тыс. т с максимумом в сезоны 2010 и 2013 гг. —

212 тыс. т. Таков ответ экосистемы на происходящий в последние годы процесс смены климатической эпохи в Антарктике.

**Роль Антарктического Колебания (ААК) в формировании климатического режима Антарктики и крупномасштабном распределении криля.** Если индекс Южного Колебания служит хорошим показателем климатических колебаний в восточной части тихоокеанского сектора Антарктики, то для всего циркулярного пояса, пожалуй, наиболее важным показателем является индекс Антар-

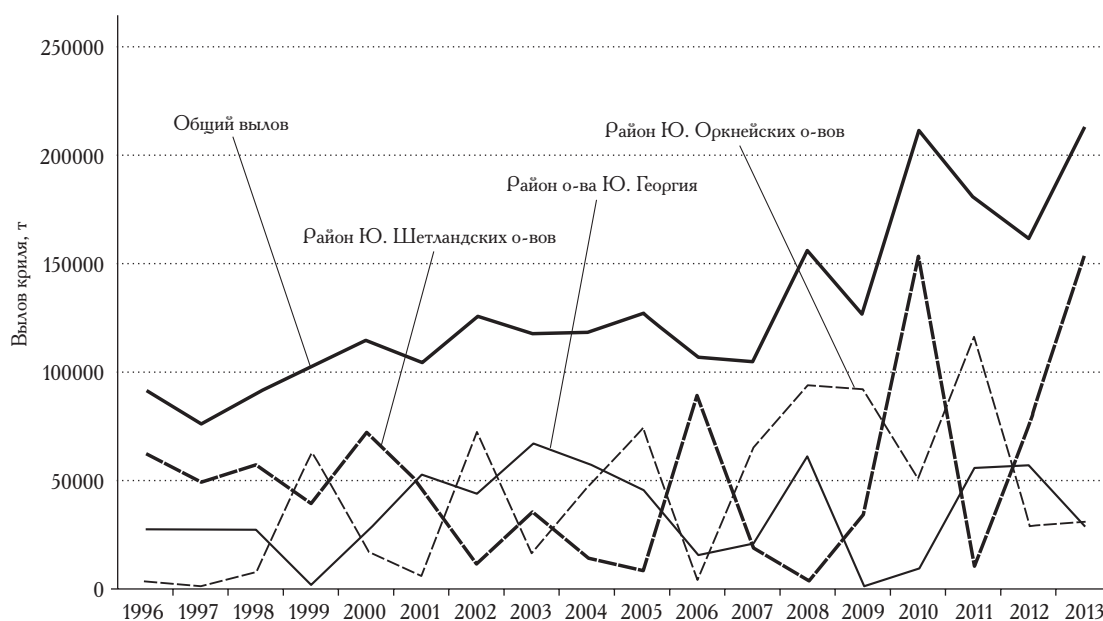


Рис. 6. Вылов криля по районам

ктического Колебания (ААК). По существу, этот индекс представляет собой разность между приземным атмосферным давлением в пределах пояса умеренных широт (на  $40^\circ$  ю.ш., пояс высокого давления) и пояса антарктического (на  $65^\circ$  ю.ш., пояс низкого давления) [Gong, Wang, 1999]. В настоящее время этот показатель рассчитывается на разных поверхностях, представляется в виде главных компонент разложения ЭОФ и соответствует так называемой Южной Кольцевой моде колебаний [Thompson, Wallace, 2000]. Это не меняет дела, так как ход их показателей почти идентичен по характеру. Таким образом, индекс ААК служит показателем степени изолированности циркумполярной системы. Наличие циркумполярных климатических фронтов в океане и атмосфере уже само по себе служит показателем некой изолированности антарктической системы. Однако постоянно совершаются меридиональные взаимовнедрения контрастных масс в пределы друг друга. То, насколько это явление развито (его амплитуда) и насколько велика его повторяемость, как раз и определяется показателем ААК. Последняя климатическая эпоха проходила под знаком повышенных величин индекса и характеризовалась повышенной контрастностью между смежными поясами, что, в условиях внедрения масс, приводило

к сильной межгодовой изменчивости атмосферных и океанических характеристик. Началась эта эпоха в конце 1970-х гг. До этого существовал период низких величин индекса ААК, которому была свойственна, напротив, слабая межгодовая изменчивость температуры воздуха и воды в Антарктике. Для примера мы приводим графики, показывающие межгодовой ход летних величин температуры воздуха в выделенных антарктических кластерах (рис. 7). В Антарктике выделены 10 температурных кластеров, и все они (в некоторых случаях с небольшими временными отклонениями) имеют сходный характер колебаний температуры [Масленников, 2003].

Таким образом, выявляются две противоположные климатические эпохи — зонально-симметричная (1949?–1978 гг.) и зонально-волновая (1979–2007? гг.). Вопросительные знаки означают неопределённость начала эпохи зонально-симметричной циркуляции (1949 г. — это всего лишь год начала имеющегося ряда данных) и завершения (2007 г.) эпохи зонально-волновой циркуляции (что покажет дальнейший ход событий, пока прошло лишь 6 лет). Первая характеризовалась относительно слабым взаимодействием указанных климатических поясов, уменьшением количества и интенсив-



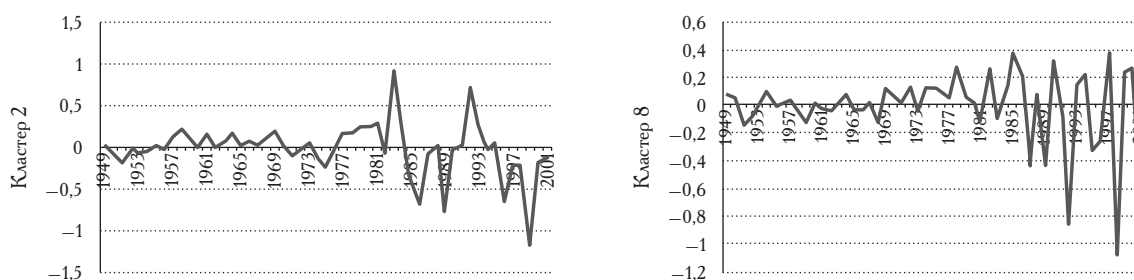


Рис. 7. Графики колебаний летней поверхностной температуры воды для кластеров 2 и 8

ности взаимовнедрений контрастных воздушных масс. Это относительно спокойная эпоха, когда весь антарктический пояс более изолирован от смежных с севера областей, величины аномалий различных климатических характеристик невелики, как и их межгодовые колебания. Вторую эпоху можно обозначить как контрастную. Она характеризовалась интенсивными взаимовнедрениями разных по происхождению масс, вероятными сильными межгодовыми колебаниями гидрометеорологических показателей, аномальными погодными явлениями. Естественно, такие различия сказываются на изменениях, происходящих в очень чувствительной полярной экосистеме. Зонально-волновая эпоха существовала после известного режимного климатического сдвига 1977–1978 гг. до 2007 г. по нашим данным.

Эпоха повышенных величин индекса ААК ещё не завершена (рис. 8). Однако, продолжавшийся в течение длительного времени тренд на постоянный рост индекса прекратился, последние 6–7 лет кривая колебаний индекса находится в своём пике и в дальнейшем неминуемо должен начаться период (возможно, столь же длительный) постепенного его снижения. Это приведёт к переходу от эпохи «контрастов» к более спокойной эпохе, к более естественному для циркумполярного пояса зональному переносу, к общему похолоданию в антарктическом поясе, к ослаблению меридиональных воздействий. Есть некоторые предпосылки к этому. Они связаны, прежде всего, с климатическими изменениями, происходящими в самом антарктическом поясе и начавшимися в сезон 2007 г. (явные признаки сдвига в сторону похолодания, выражающиеся в более

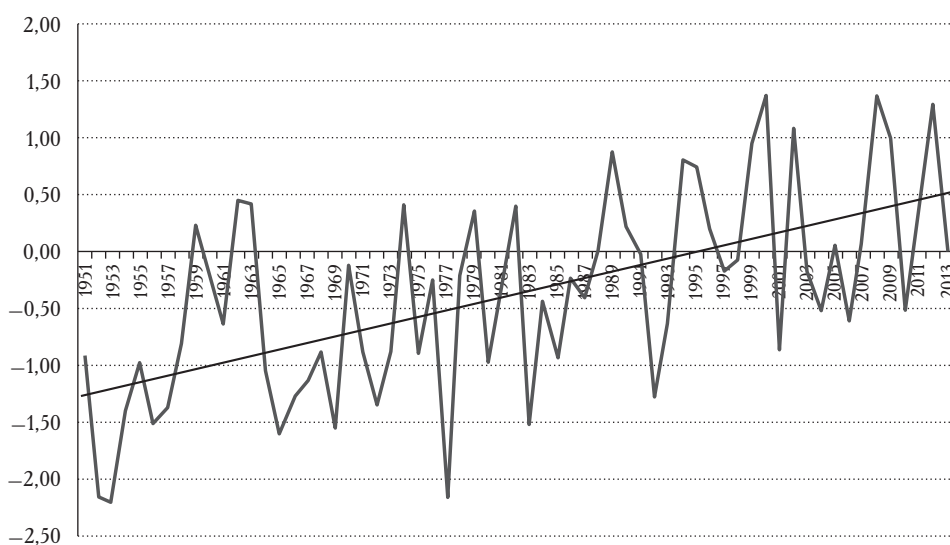


Рис. 8. Изменения индекса Антарктического Колебания. Показан линейный тренд

интенсивном и раннем льдообразовании, увеличении ледовитости зимой, в отрицательных аномалиях температуры воды). Кроме того, нужно отметить и синхронизированное с этими процессами наступление эпохи повышенных значений индекса Южного Колебания и, соответственно, сдвига климатических процессов на экваторе Тихого океана в сторону холодной фазы, т.е. событий Ла-Нинья. Все это способствует естественному процессу крупномасштабного дрейфа криля и снабжения (поддержания) одних циклических группировок особями смежных группировок. Обилие криля в результате становится более равномерным по акватории его основного ареала.

**Роль склоновых процессов в формировании рыбопродуктивности высокоширотных областей Антарктики.** В высоких широтах, в районах материкового склона и частично шельфа приматериковых морей складывается несколько иная ситуация с воздействием смены меридиональной направленности переноса масс на распределение криля. Так, например, в районе моря Содружества, скорее, необходим постоянный импульс на перенос в южном направлении, чтобы тем самым обеспечить возврат части местной группировки на юг к склону и даже в пределы шельфа. В противном слу-

чае популяция может понести значительные потери в связи с проносом рачков на восток. Районы шельфа и склона моря Содружества во второй половине 70-х — начале 80-х гг. прошлого столетия были одними из основных районов советского промысла антарктического криля (помимо главного района — западной части атлантического сектора). Обилие криля здесь связано с особенностями рельефа дна (наличие глубокой ложбины в заливе Прудс, соединённой с океаном относительно неглубоким проходом) и соответствующей системой циклонической циркуляции вод, обеспечивающей необходимый циклический дрейф криля в процессе развития его локальной популяции. При этом большую роль в приносе криля в шельфовую область играют глубинные океанические воды, так называемые Циркумполярные глубинные воды (ЦГВ). Их поступление на шельф зафиксировано в западной части разреза вдоль ледника Эймери по основным гидрохимическим показателям — содержанию кислорода (рис. 9), кремния, фосфора и нитратного азота. На рисунке виден массив глубинных вод с характерным для него глубинным минимумом кислорода. Другой характерной чертой ЦГВ служит глубинный максимум биогенных элементов. Соответственно, содержание кремния, фосфора и нитратов в этих

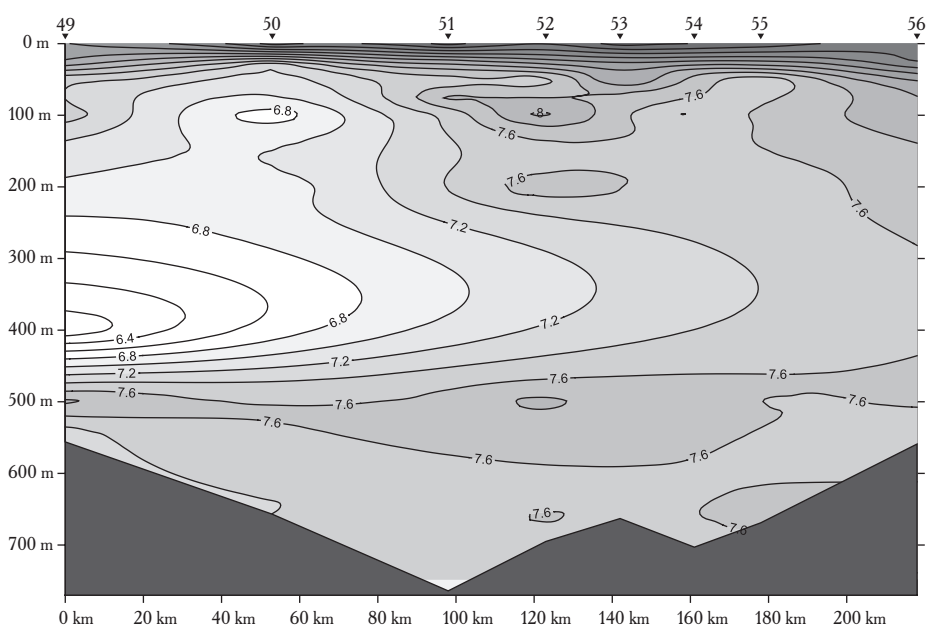


Рис. 9. Распределение содержания растворенного кислорода (мл/л) на разрезе вдоль шельфового ледника Эймери в заливе Прудс

трансформированных ЦГВ демонстрирует на разрезе повышенные величины [Антипов и др., 2013].

Вообще роль криля в формировании богатой кормовой базы для представителей более высоких трофических уровней в районе материкового склона трудно переоценить. Огромные запасы массовых относительно мелких рыб (таких как антарктическая серебрянка и представители белокровных рыб) и кальмаров, составляя следующий трофический уровень, являются объектом питания крупных хищников (в том числе такого ценного промыслового объекта, как клыкач). Клыкач — крупная рыба семейства нототениевых (*Nototheniidae*), рода *Dissostichus* двух видов — антарктический клыкач (*D. mawsoni*) и патагонский клыкач (*D. eleginoides*) [Петров, 2011]. Распределение клыкача циркумполярное. Наиболее перспективным в аспекте численности и биомассы этого относительно нового объекта промысла пока остается район моря Росса (его восточная часть в большей степени). Однако промысел его постепенно распространяется и на другие приматериковые моря. Клыкач не совершает миграций на большие расстояния. Это может свидетельствовать о возможности формирования отдельных географических группировок, привязанных к разным приматериковым морям

и участкам вне их. В свою очередь этот факт говорит о явной приспособленности рыб каждой группировки к определённым условиям среды (характер течений, формирование фронтов, их особенности и изменчивость). Требуемое количество пищи весьма велико и может быть обеспечено только в районах обитания массовых видов антарктических рыб и кальмаров. Именно такими районами являются участки материкового склона, где происходит основной откорм взрослого половозрелого клыкача, поскольку здесь наблюдаются крупные скопления относительно мелких антарктических рыб и кальмаров, питающихся в значительной степени крилем. Связано это явление с развитием над материковым склоном так называемого Склонового фронта (над бровкой шельфа формируется в тёплый сезон ещё и поверхностный Антарктический Пришельфовый фронт, как результат стыка поверхностных шельфовых и океанических вод). В море Содружества (так же, как и в море Росса) Склоновый фронт обостряется ещё и в силу сползания тяжёлых шельфовых вод по склону, образующих включения, которые сильно контрастируют с подступающими к склону Циркумполярными глубинными водами (ЦГВ). Содержание кремния (рис. 10) в них заметно ниже (85–90  $\mu\text{M}$  против 115–130  $\mu\text{M}$ ), а кислорода (рис. 11), напротив,

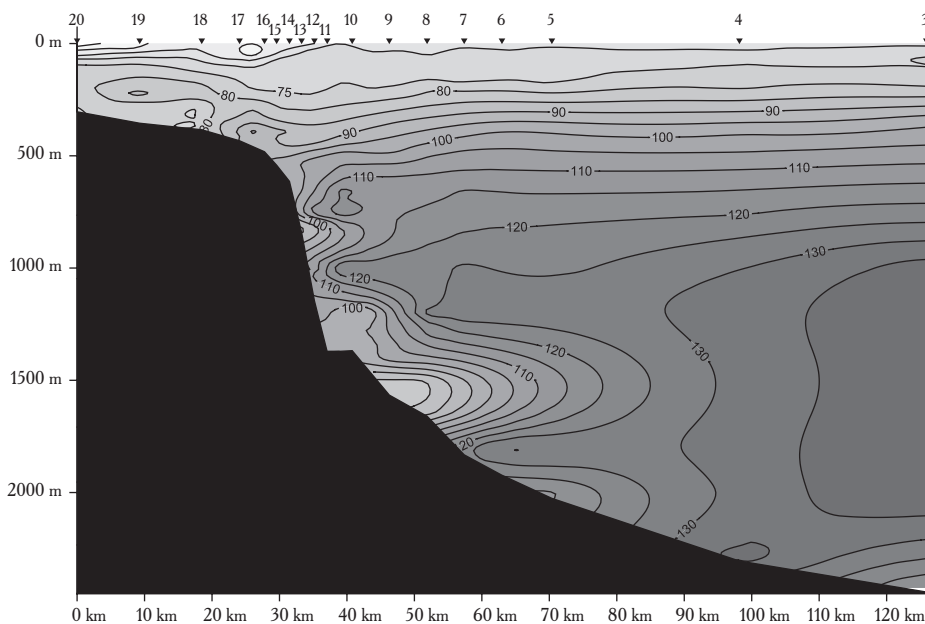


Рис. 10. Распределение концентрации растворённого кремния ( $\mu\text{M}$ ) на разрезе по  $70^\circ$  в.д.

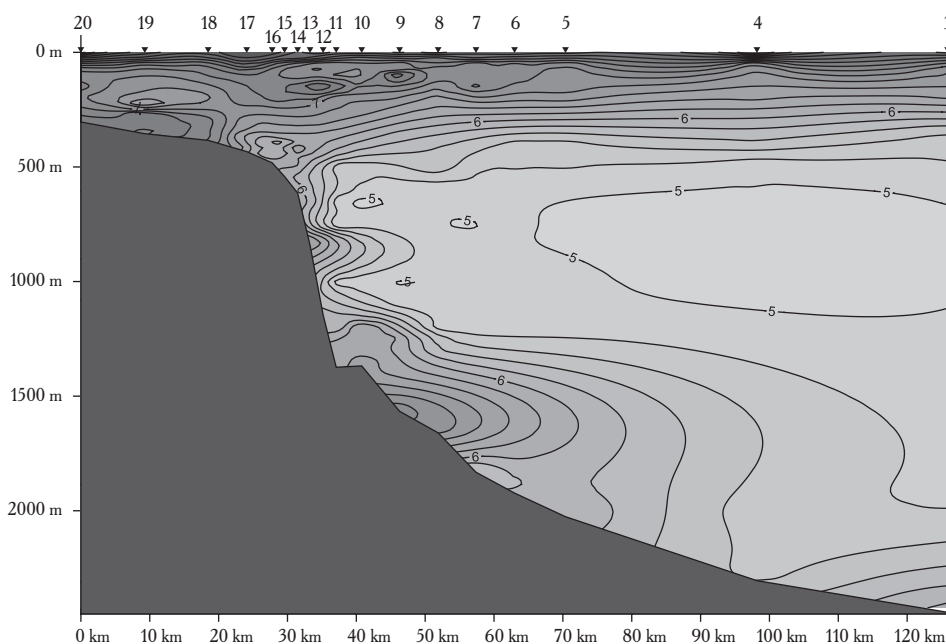


Рис. 11. Распределение содержания растворённого кислорода (мл/л) на разрезе по 70° в.д.

выше (6,4–7,0 мл/л против 5,4–5,8 мл/л), чем в ЦГВ [Антипов и др., 2007, 2013].

Нужно отметить, что процесс сползания шельфовой воды по склону не прост, он в большой степени определяется рельефом дна и, с другой стороны, носит пульсационный характер. Последний факт предопределяет временную изменчивость процесса, прежде всего, межгодовую. Она связана, в свою очередь, с серьёзными климатическими изменениями глобального характера, о которых мы говорили выше, а выражается в колебании объёма проникающих на шельф глубинных вод, а также в изменении условий формирования тяжелой шельфовой воды и, соответственно, колебании её объёма. В связи с этим нужно вновь отметить благоприятный характер начавшихся в 2007 г. изменений климатического режима в Антарктике. Он связан с намечающимся улучшением ситуации в распределении кряля (приуроченность к традиционным местам скапливания и нереста, уменьшение резких колебаний численности в этих местах, более равномерное распределение), большей доступностью шельфовой зоны для глубинных вод, с ростом объёмов формирующихся плотных шельфовых вод (в связи с общим похолоданием), обострением Склонового фронта.

Это ведёт к улучшению кормовой базы для клякача.

В районах других приматериковых морей обычно не образуются развитые циркуляционные системы, далеко удаляющиеся от материкового склона и формирующие, тем самым, некие отдельные группировки кряля в их пределах. Там на участках материкового склона, отличающихся высокой вихревой активностью, наличием целого комплекса локальных фронтов, стаи рачков также могут задерживаться и накапливаться в достаточно крупные промысловые скопления. В данном случае циркуляционный характер распределения клякача позволяет надеяться на обнаружение новых районов его высокой численности. Тем более, что, если по оценке американских учёных только на восточном участке материкового склона и шельфа моря Росса биомасса клякача составила 400 тыс. т, то, учитывая его циркулярное распространение, можно полагать, что на всём поясе эта цифра может увеличиться по скромным подсчётам до 1–1,5 млн т.

#### ЛИТЕРАТУРА

Антипов Н.Н., Батрак К.В., Клепиков А.В., Масленников В.В. 2007. Особенности структуры вод шельфа и материкового склона в море Содруже-

- ства по данным экспедиции НЭС «Академик Федоров» в 2007 г. // Арктика и Антарктика. М.: Наука. Вып. 5. С. 112–124.
- Антипов Н.Н., Батрак К.В., Духова Л.А., Кузнецов В.Л., Масленников В.В. 2009. Гидролого-гидрохимические исследования в 53-й Российской антарктической экспедиции на научно-экспедиционном судне «Академик Федоров» // Океанология. Т. 1. № 49. С.155–158.
- Антипов Н.Н., Артамонов А.А., Артамонова К.В., Духова Л.А. Масленников В.В. 2013. Гидролого-гидрохимические исследования в водах Антарктики в 57-й Российской антарктической экспедиции // Океанология. Т. 53. № 3. С. 421–424.
- Макаров Р.Р., Масленников В.В., Солянкин Е.В. 1987. Исследования гидрологических особенностей вод Антарктики в связи с проблемой формирования их биопродуктивности // Тр. ВНИРО. Комплексные рыбохозяйственные исследования ВНИРО в Мировом океане. С. 43–65.
- Макаров Р.Р., Спиридонов В.А. 1993. Жизненный цикл и распределение антарктического криля: некоторые итоги исследований и проблематика // Пелагические экосистемы Южного океана. М.: Наука. С. 158–168.
- Масленников В.В. 2003. Климатические колебания и морская экосистема Антарктики. М.: Изд-во ВНИРО. 296 с.
- Парфенович С.С. 1982. Некоторые особенности пространственного размещения скоплений антарктического криля // Океанология. Т. 22. Вып. 3. С. 480–485.
- Петров А.Ф. 2011. Антарктический клякач *Dissostichus mawsoni* Norman, 1937 (распространение, биология и промысел). Автореф. дис. канд. биол. наук. М.: ВНИРО. 21 с..
- El-Sayed S.Z, Biggs D. C., Holm-Hansen O. 1983. Primary Productivity, Standing Crop of Phytoplankton and Ammonium Chemistry of the Ross Sea // Deep-Sea Res. 308. P. 721–886.
- Gong D., Wang S. 1999. Definition of Antarctic Oscillation Index // Geophys. Res. Ltrs. Vol. 26. N 4. P. 459–462.
- Hewitt R. 1997. Areal and Seasonal Extent of Sea-Ice Cover off the Northwestern Side of the Antarctic Peninsula: 1979 to 1996 // CCAMLR Science. Vol. 4. P. 65–73.
- Hewitt R. 2000. An Index of Per Capita Recruitment // CCAMLR Science. Vol. 7. P. 179–196.
- Priddle J., Croxall J.P., Everson I., Heywood R.B., Murphy E.J., Prince P.A, Sear C.B. 1988. Large-Scale Fluctuations in Distribution and Abundance of Krill — A Discussion of Possible Causes //In: Antarctic Ocean and Resources Variability / Ed. D. Sahrhage. Berlin: Springer Verlag. P. 169–182.
- Sahrhage D. 1988. Some Indications for Environmental and Krill Resources Variability in the Southern Ocean // Antarctic Ocean and Resources Variability / Ed. D. Sahrhage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. P. 33–40.
- Thompson D. W.J., Wallace J.M. 2000. Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability // J. Clim. Vol. 13. N 5. P. 1000–1016.

## Temporal and Spatial Variability of Total Productivity of the Antarctic Waters

V.V. Maslennikov, K.V. Artamonova, L.A. Dukhova

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSUE VNIRO, Moscow)

Temporal and spatial variability of total productivity in Antarctic water depending on climatic conditions is considered. Favorable and unfavorable periods of commercial Antarctic krill concentrations are established. The Antarctic krill is a most valuable fishing object in the Antarctic waters. It makes a basic part of feeding ration for numerous consumers. A spatial inhomogeneity of the Antarctic krill distribution is shown. Chemical indices of the high-productivity areas of the Antarctic water are established. It is shown the chemical indices of the dense Antarctic Shelf waters in the Slope areas intensified the Antarctic Slope front that is a most high-fish capacity area in Antarctic.

**Key words:** productivity, Antarctic waters, temporal and spatial variability, climatic indices, krill, chemical characteristics.