

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
КЕРЧЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОРСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра водных биоресурсов и марикультуры

На правах рукописи



ЖУК

Николай Николаевич

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА РАЗМЕРНЫЙ СОСТАВ АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ
(*EUPHAUSIA SUPERBA* DANA, 1852)
В ПОДРАЙОНЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА
(АТЛАНТИЧЕСКИЙ СЕКТОР АНТАРКТИКИ)**

1.5.16 — гидробиология

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук
ФГБОУ ВО «КГМТУ»
Губанов Евгений Павлович

Москва, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	10
1.1 Советские и зарубежные исследования Южного океана	10
1.2 Особенности биологии антарктического криля	13
1.2.1 Жизненный цикл антарктического криля	13
1.2.2 Распределение и структура популяции антарктического криля	17
1.2.3 Особенности пространственно-временной изменчивости размерного состава антарктического криля	21
1.2.4 Динамика численности и биомассы антарктического криля	23
1.2.5 Оценка запаса антарктического криля	25
1.3 Промысел и прогноз вылова антарктического криля	28
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЮГО-ЗАПАДНОЙ АТЛАНТИКИ И ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО СЕКТОРА АНТАРКТИКИ	40
2.1 Границы Южного океана и фронты	42
2.2 Атлантический сектор Антарктики	43
2.2.1 Рельеф дна	43
2.2.2 Климатические особенности региона	44
2.2.3 Гидрологические особенности региона	50
2.2.4 Фронты	55
2.2.5 Ледовые условия	56
2.2.6 Влияние гидрометеорологических условий на распределение и динамику численности антарктического криля	61

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	64
3.1 Характеристика материала	64
3.2 Орудия лова, система их мониторинга	68
3.3 Методы сбора и обработки данных	69
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	74
4.1 Динамика гидрометеорологических условий промысла антарктического криля в подрайоне Антарктического полуострова в 2006-2017 гг.	74
4.2 Размерный состав и особенности биологии антарктического криля в подрайоне Антарктического полуострова в 2006-2017 гг.	85
4.3 Вертикальные миграции антарктического криля в подрайоне Антарктического полуострова и сопредельных подрайонах	110
4.4 Динамика биомассы антарктического криля в проливе Брансфилд (Антарктический полуостров)	120
4.4.1 Биомасса криля в сезон 2006 г.	122
4.4.2 Биомасса криля в сезон 2017 г.	124
ГЛАВА 5. ПРОМЫСЕЛ АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ В АТЛАНТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ АНТАРКТИКИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ	133
5.1 Межгодовая динамика промысловых показателей антарктического криля в подрайоне Антарктического полуострова	133
5.2 Прогнозы вылова антарктического криля, их оправдываемость	137
5.3 Рекомендации и перспективы ведения промысла антарктического криля в подрайонах 48.1, 48.2, 48.3 и за их пределами	169
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	172
ВЫВОДЫ	180
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	182
ПРИЛОЖЕНИЯ	216

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Конец XX века ознаменовался прекращением работы советского криледобывающего флота — лидера мирового промысла антарктического криля *Euphausia superba* (Dana, 1852) и снижением вылова до 100 тыс. т. Тенденция увеличения его вылова в Атлантическом секторе Антарктики (АсА, АчА) наметилось с 2008 г. и была достигнута максимума 446 тыс. т в 2020 г. Это стало возможно благодаря применению новых орудий лова, изменению стратегии и тактики промысла современными крупнотоннажными судами Норвегии. Для рационального использования биоресурсов криля актуальным стоит вопрос определения его биомассы с межгодовыми колебаниями. Поскольку общепринятой величины запаса криля в Антарктике пока не существует, то в качестве ориентира АНТКОМ принимает исторические данные KRILLBASE – величину 133–398 млн т (Atkinson et. al., 2009). Около 70–75 % общего запаса криля приходится на Атлантический сектор Южного океана между 0 и 90° з.д., где пополнение биомассы происходит из морей Беллинсгаузена и Уэдделла.

Для оптимальной эксплуатации криля необходим ежегодный учёт и прогноз его биомассы (запаса) в условиях изменения климата (Abram et al., 2014; Smith, Polvani, 2017).

Антарктический криль обладает уникальными пищевыми свойствами, является одним из наиболее экологически чистых пищевых продуктов на планете (Сушин, Литвинов, 2002) и имеет широкий спектр промышленного использования (Андреев, 2002).

В настоящее время на промысле антарктического криля сложилась стабильная группа из пяти стран-членов АНТКОМ, заинтересованных в его эксплуатации. В этой связи геополитическое присутствие Российской Федерации в Антарктике жизненно, как и актуально возвращение к промысловой активности по использованию её биоресурсов, прежде всего, в отношении антарктического криля — крупнейшего источника животного белка морского происхождения. О

важности возвращения России в когорту стран-членов промысла криля свидетельствует документ «Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года», утвержденный Правительством Российской Федерации от 26 ноября 2019 г. № 2798-р. План по ее исполнению утвержден распоряжением правительства РФ от 30 июня 2021 г. № 1767.

При разработке Антарктической стратегии учитывался комплексный подход в обеспечении региональных государственных интересов, которые заключаются, в том числе, в развитии экономического процветания за счет использования биоресурсов региона, укрепления международного престижа.

Для современной России вопросы использования ресурсного потенциала Антарктики очевидны. По оценкам Федерального агентства по рыболовству (ФАР) на возобновление и освоение ресурсов криля необходимы инвестиции в 45 млрд руб., к которым очевиден интерес бизнеса. Приоритетными остаются вопросы продолжения мониторинга и изучения факторов внешней среды, его биоресурсов для обеспечения экономически эффективного рыбного и крилёвого промысла в одном из важнейших регионов Антарктики — Атлантическом секторе.

В основу данной диссертационной работы положены результаты изучения биологии, промысла и распределения антарктического криля в Атлантическом секторе Южного океана (ФАО, Район 48), полученные автором при участии в 16 промысловых экспедиций в период 2001–2017 гг.

Степень разработанности исследования. Антарктический криль — циркумполярный массовый вид антарктического макропланктона, относящийся к эуфаузиевым ракообразным, способный образовывать скопления, в том числе промысловые (Парфенович, 1982; Everson, Goss, 1991). В настоящее время промысел криля сосредоточен в АсА в трех его подрайонах 48.1, 48.2, 48.3, в которых вылов испытывает существенные колебания (Brierley et al., 1999). Это связано с формированием крупных и плотных скоплений криля благодаря горизонтальным миграциям (Сологуб, 2016; Murphy 2004.). Главная причина данного явления заключается в единых для них правилах, закономерностях

массового приноса и скапливания рачков. Под этой причиной видится преобладающее меридиональное направление переноса в атмосфере и в океане в течение достаточно длительных периодов времени (Масленников, 2003), рассмотренный для подрайона о-ва Южная Георгия (подрайон 48.3). Для подрайона 48.1 остается открытым вопрос пополнения промыслового запаса молодью криля через восточную часть пролива Брансфилд (Спиридонов, 1987; Масленников и др., 2014; Спиридонов и др., 2020) во взаимосвязи с абиотическими факторами среды (Артамонов и др., 2003; Донченко, 2008; Murphy et al., 2017; Sandra et al., 2011; 2017), включая успешность промысла, наличие размерного состава от доминирующего характера атмосферной циркуляции, степени ее устойчивости.

Цель и задачи исследования. Цель работы заключалась в оценке влияния факторов внешней среды на изменчивость размерного состава, величины уловов на усилие и биомассы антарктического криля на промысловых участках в подрайоне Антарктического полуострова (подрайон 48.1).

Задачи для выполнения цели:

1. Проанализировать сезонную и межгодовую изменчивость факторов внешней среды: направление и скорость ветра, температуры поверхности океана (ТПО) и воздуха, атмосферного давления в подрайоне Антарктического полуострова (48.1).
2. Выполнить анализ сезонной и межгодовой изменчивости размерного состава антарктического криля по участкам промысла в подрайоне 48.1.
3. Выполнить анализ сезонной и межгодовой изменчивости уловов антарктического криля на промысловые усилия в подрайоне 48.1.
4. Выполнить расчет биомассы антарктического криля, изучив особенности ее межгодовой изменчивости на участках промысла в подрайоне 48.1.
5. Проанализировать сезонные и межгодовые изменчивости вертикальных миграций антарктического криля в подрайонах Антарктического полуострова (48.1), Ю. Оркнейские о-ва (48.2), о. Ю. Георгия (48.3).

6. Выполнить анализ уловов и оправдываемость прогноза вылова антарктического криля с годичной заблаговременностью для подрайонов 48.1, 48.2, 48.3 для повышения эффективности промысла.

Научная новизна. Автором впервые для Антарктического полуострова и пролива Брансфилд показано влияние зонального типа атмосферной циркуляции на размерный состав и величину уловов криля. Впервые в подрайоне Антарктического полуострова в период наблюдений 2001–2017 гг. был выполнен расчет и получены величины биомассы криля с использованием метода прямого учёта по данным уловов промыслового судна в 2006 и 2017 гг. Обнаружено наличие сезонных и межгодовых вертикальных миграций, обусловленных особенностью влияния абиотических факторов с иллюстрацией эхограмм высокого качества. Показана пространственно-временная изменчивость размерного состава антарктического криля в Районе 48 в осенне-зимние месяцы Южного полушария за период 2001–2017 гг., используемая в прогнозах его вылова для рыбопромысловых организаций с годичной заблаговременностью.

Практическая значимость. Результаты исследования позволили расширить знания по биологии антарктического криля, его промыслу, влиянию гидрометеорологических факторов на процесс его агрегированности и размерный состав. На основе биологических и гидрометеорологических итогов были рекомендованы последовательности промысла в подрайонах 48.1 и 48.2, способствовавшие оптимизации сроков добычи криля, снижению затрат времени на поиск скоплений. Подготовленные прогнозы вылова криля с годовой заблаговременностью для рыбодобывающих организаций на протяжении 2002–2010 гг. продемонстрировали высокую их оправдываемость, что разрешило повысить эффективность промысла, обеспечить стабильные уловы.

Методология и методы исследования. Методология даёт характеристику компонентов научного исследования объекта (*E. superba*), определяет задачи исследования и совокупности исследовательских средств, необходимых для их решения, включая постановку проблемы, выбор предмета исследования и

построение научной теории, а также проверку полученного результата с точки зрения соответствия истинности объекту изучения.

Использование описательного и системного методов исследования позволили рассматривать антарктический криль в качестве системы совокупности элементов с установленными абиотическими взаимосвязями.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Представлены определяющие влияния типа атмосферной циркуляции на размерный состав криля и величину его уловов в скоплениях. Преобладание зонального типа атмосферной циркуляции с высокой повторяемостью ветров западных румбов обеспечивает увеличение притока криля с водами из моря Беллинсгаузена на промысловые участки пролива Брансфилд, а повышение повторяемости восточных ветров — поступление криля из моря Уэдделла.

2. Выполненный расчет промысловой биомассы антарктического криля методом прямого учета в подрайоне Антарктического полуострова свидетельствует о наличии его значительного ресурса для наращивания добычи и выпуска пищевой продукции экологически чистого белка.

Личный вклад автора. Жук Н.Н. принял участие в сборе, обработке первичного материала по биологии, промыслу, факторам среды обитания антарктического криля в 16 промысловых рейсах в Атлантическом секторе Антарктики (Район 48) на борту украинских (2001–2003, 2005, 2006, 2008, 2013–2017 гг.), американского (2004 г.) и польского (2009, 2010 гг.) судов. Написание научных статей. В основу работы положены обобщенные и осмысленные результаты анализа первичных материалов по размерному составу, распределению, величине уловов, биомассы, этологии антарктического криля результатов, сопоставленные с имеющимися литературными сведениями. Ежегодно участвовал в написании прогноза вылова криля для рыбопромысловых организаций с 2002 по 2010 г.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов исследования определена личным участием автора в сборе и обработке научного материала по итогам 16 промысловых рейсов в период 2001–2017 гг., которые

были представлены на расширенных коллоквиумах лаборатории «Мирового океана» «ЮгНИРО» (2003–2014 гг.), Кафедры водных биоресурсов и марикультуры ФГБОУ ВО КГМТУ (2014–2018 гг.). Участие в семинарах и научно-практических конференциях в России, Украине, Белоруссии (всего в десяти), из них в шести международных, в том числе представленные материалы на Рабочую группу по экосистемному мониторингу и управлению (WG-EMM) АНТКОМ в 2007, 2008 годы. Апробация прогнозов вылова криля была реализована судами рыбопромысловых организаций ОАО «Интеррыбфлот», ООО «Интерфлот», «Ситрефик» г. Севастополь на протяжении 2002–2010 гг. и продемонстрировала высокую степень их оправдываемости.

Публикации. Результаты диссертационных исследований отражены в 35 публикациях, в том числе в 4 статьях научных журналов из списка ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации, патента на изобретение (№ 85105).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, списка литературы (309 работ, из них 155 на английском языке), 3 приложений. Текст диссертации изложен на 215 страницах, иллюстрирован 57 рисунками, снабжен 24 таблицами.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю д. б. н., профессору Евгению Павловичу Губанову за поддержку, советы и помощь на протяжении работы над диссертацией. Выражаю свою искреннюю признательность и благодарность старшим коллегам и сотрудникам ЮгНИРО В.А. Бибику и М.С. Савичу (к. б. н.), с которыми принимал участие в промысловых антарктических экспедициях. Глубокое уважение П.Д. Ломакину (д. г. н.), А.П. Золотницкому (д. б. н.), Н.П. Новикову (д. б. н.) за консультации по вопросам среды обитания и общим вопросам биологии. Особая благодарность Е.М. Герберу (ФГБНУ «АтлантНИРО») за материал по ледовитости и SST Района. Автор признателен руководству рыбопромысловых организаций, экипажам промысловых судов за их работу и оказанную помощь в рейсах.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Биологическая и промысловая продуктивность антарктических вод Южного океана (ЮО) обусловлена наличием в этом регионе антарктической креветки — антарктического криля *Euphausia superba* (Dana, 1852). По происхождению криль принадлежит к тропическому роду *Euphausia*, состоящему из 30 видов рачков, основная часть которых — до 70 %, является умеренно-холодноводными, а только 13 % адаптировались и обитают в антарктических водах ЮО.

Многолетние исследования определили ареал *E. superba*, который в водах ЮО распространяется от побережья Антарктиды на север до зоны Антарктической конвергенции (50–55° ю.ш., Южный полярный фронт — ЮПФ). При этом следует учитывать не географическое положение границ, а придерживаться экологического определения границ ареала, что снимает и проблему подвижности границ в морской среде (Алексеев, 2020).

Отдельные агрегации криля встречаются и к северу от ЮПФ — в Субантарктике Юго-Западной Атлантики, Юго-Восточной Атлантики и Восточной части Индийского океана. Из общей площади в ЮО (32 млн км²) подходящей средой обитания криля занято примерно 18 млн км² (Sigel, 2016), а в зимний сезон Южного полушария около 24 млн км² покрыто льдом.

1.1 Советские и зарубежные исследования Южного океана

Систематические рыбохозяйственные исследования в ЮО Советский Союз начал проводить в 1946–1947 гг. с группой ученых на борту китобойной флотилии «Слава». Символичным является факт, что в эти же годы состоялась известная американская экспедиция Р. Бэрда. Советские учёные собрали богатейший материал по биологии и распределению китов и антарктического криля, который позволил сделать важный вывод, что именно *E. superba* является основой трофической цепи антарктической экосистемы в питании тюленей, усатых китов, птиц, пингвинов и рыб (Бураковский, Ярогов, 1965). В 1955–1958 гг. по программе Международного Геофизического года (МГГ) в ЮО работала

Советская Антарктическая Экспедиция (САЭ) на академических судах «Обь» и «Лена», которые проводили гидрографические и океанологические работы, а также изучение биологии и распределения криля. В результате этих исследований в Индоокеанском секторе Южного океана были выявлены уникальные особенности рельефа дна — подводные хребты, горы и банки, а также подводное плато Кергелен, влияющее на схему главных океанических течений и фронтов Антарктики и образование потенциальных высокопродуктивных зон. Уже в последующие годы и десятилетия советский добывающий флот вел здесь промысел ценных антарктических рыб — мраморной и серой нототении, ледяной рыбы, патагонского клыкача, а в высокоширотной зоне — промысел антарктического криля.

В 1964 г. к работам в Антарктике приступил флагман советских рыбохозяйственных исследований НПС «Академик Книпович» (ВНИРО), выполнивший до 1991 г. 22 рейса. Уже в первых его рейсах был собран огромный объем первичного материала по биологии, распределению и биомассе криля, по технике лова и технологии его переработки. По результатам этих исследований и положительных практических результатов МРХ СССР в 1971 г. организовало постоянно действующую научно-промысловую антарктическую экспедицию с привлечением бассейновых научно-исследовательских институтов (АтлантНИРО, ТИНРО, АзЧерНИРО), промысловых разведок (ППП Югрыбпоиск и др.), институтов Академии Наук СССР. По программе этой экспедиции количество научно-исследовательских и поисковых рейсов по практическому использованию запасов криля возросло до 12–15 ежегодно. С 1972 г. Советский Союз одновременно с продолжением исследований приступил к масштабному промысловому освоению запасов криля в Атлантическом секторе Антарктики — в районе острова Южная Георгия и Южных Оркнейских островов, в Индоокеанском секторе — в море Содружества и заливе Прюдс, в Тихоокеанском секторе — в районе острова Баллени. В конце 70-х гг. прошлого столетия Минрыбхоз, ВНИРО, бассейновые институты и промысловые разведки разработали и внедрили в практику Комплексные Целевые Программы (КЦП)

«Криль», «Шельф», «Пелагиаль» и др. Таким образом, за период 1961–1991 гг. советские рыбохозяйственные исследования охватили более 80 % акватории Южного океана (Глубоков и др., 2008).

В последующие годы к изучению криля и его промыслу подключились такие страны, как Чили (1974), Польша, ФРГ, Норвегия (1975), ГДР (1976), Южная Корея (1978). До конца прошлого столетия этот список стран дополнили Австралия, Аргентина, Болгария, Румыния, Великобритания, Дания, Испания, Канада, Куба, Монако, Новая Зеландия, Португалия, США, Франция, ЮАР, Индия и Бельгия.

Громадный вклад в изучение антарктического криля и его роли в экологической системе Южного океана внесло сотрудничество ВНИРО (г. Москва), АтлантНИРО (г. Калининград), ЮгНИРО и ППП Югрыбпоиск (г. Керчь) с другими странами по программе БИОМАСС, утвержденной в Вудс-Холле (США). На первом этапе этой программы в 1980–1981 гг. проводился Международный эксперимент ФАЙБЕКС. В результате была получена уникальная общая карта циркумполярного ареала антарктического криля и основные регионы его массовой концентрации, которые совпадали с районами квазистационарных океанических циклонических циркуляций и атмосферных депрессий. Наиболее крупные и плотные «зоны обилия» криля, рекомендованные для ведения рентабельного промысла, располагались вблизи побережья Антарктиды. Они были сосредоточены в высокопродуктивной эпипелагиали климатической зоны «дрейфующих льдов и айсбергов» Южного океана — к югу от Антарктической дивергенции (АД, 60° ю.ш.) — оси циклонических круговоротов антарктических вод. Именно здесь осуществляется размножение криля, развитие его молоди, питание рачков и образование массовых концентраций половозрелых особей в верхнем 100-метровом слое океана в течение весенне-летнего и осеннего периодов.

На втором этапе программы БИОМАСС был осуществлён эксперимент САЙБЕКС, который проводился в две фазы в 1983–1985 гг. Главной целью этих работ было глубокое изучение биологии криля и его роли в трофической цепи

экологической системы Южного океана. Сотрудники ЮгНИРО и ППП Югрыбпоиск участвовали в Международной программе с 1977 по 1987 г. и завершили исследования криля в Индоокеанском секторе Антарктики в 1990 г.

1.2 Особенности биология антарктического криля

1.2.1 Жизненный цикл антарктического криля

Как указывает Smetacek (2008), биология криля уникальна во всех отношениях. Это проявилось в изучении жизненного цикла криля, включая личинок эвфаузиид, более, чем вековую историю. Описанные впервые Дана (Dana, 1852; цит. по Heegard, 1948), как самостоятельные формы неясного систематического ранга и признанные позже личиночными стадиями эвфаузиид (Claus, 1863; цит. по Heegard, 1948) и с более детальной классификацией подвергнутой впоследствии Сарсом (Sars, 1885; цит. по Перцова, 1976).

Что касается личинок *E. superba*, исследования имеют продолжительную историю — первые сведения относятся к началу прошлого века (Hansen, 1908; Tattersal, 1908; 1924). Наиболее приемлемой признана работа Дж. Маппа (Магг, 1962), согласно его представлениям *E. superba* нерестится в поверхностном слое в океанической зоне. Отложенная рачком икра медленно погружается на глубину, где происходит последовательное развитие икринок. Это явление глубинной эмбрионизации он определил как «развитие погружающейся икры». Описанная гипотеза имеет две трактовки: «большого» и «малого» круга. Суть первой изложена выше. Во втором случае подразумевается, что, если нерест рачка протекает над малыми глубинами, например, над шельфом, материковым склоном, островными поднятиями, то икра, погружаясь, оседает на дно, где и завершается ее инкубация (Магг, 1962).

Эвфаузиевым ракообразным, как известно (Mauchline, Fisher, 1969; Макаров, 1971; Макаров, 1974; Ломакина, 1978), свойственно наиболее длительное и сложное развитие среди высших ракообразных: от икринки до взрослого состояния в процессе метаморфоза личинки проходят продолжительную серию

последовательных стадий, объединяющихся в группы науплиальных стадий, стадий калиптопис и фуриция (Mauchline, Fisher, 1969).

Позже и Макинтош (Mackintosh, 1972) предположил, что основными областями размножения *E. superba* являются мелководные зоны шельфа и склона. В частности, для Атлантического сектора первый указывал на регион Антарктического полуострова, точнее, пролива Брансфилд и Земли Грэйама, являющиеся «нерестовой банкой» *E. superba*. Значительная часть икры, согласно их предположению, в этом случае опускается на глубины нескольких сотен метров, продолжая развиваться на дне. Часть икры и развивающихся эмбрионов, причем немалочисленная, переносится вместе с антарктической донной водной массой в северном и северо-восточном направлениях в океаническую область. Попадание молоди рачков (группы II, мода 40 мм) в пролив Брансфилд возможно за счет вод моря Уэдделла, а местом их происхождения является, в частности, весьма ледовитая восточная шельфовая область Антарктического полуострова. Описаны процессы репатриации молоди криля на континентальный шельф (Наумов, 1962; Наумов, 1985). Исследования, выполненные в 1970–1980-е гг., показали, что в районе моря Скотия происходит возврат криля в прибрежную зону за счет потока поверхностных течений, направленных к югу.

После спаривания процесс созревания икры в яичниках самок протекает от 2 до 4 месяцев. Впервые он был описан Баргманом (Bargmann, 1937; 1945), а значительно позже рядом авторов (Макаров, 1981; Cuzin-Roudy, 2000; Cuzin-Roudy, Amsler, 1991; Cuzin-Roudy, Labat, 1992).

Нерест рачков проходит над континентальным, островным шельфом и в прилегающих глубоководных океанических областях с ноября–января по март. Самки вымётывают оплодотворённую икру в поверхностных слоях океана. Затем икра медленно погружается над континентальным склоном океана в слой 800–2500 м, где и происходит выклев личинок из яиц с прохождением ряда стадий постличиночного превращения. Продолжительность икрометания составляет 6–50 суток, с различными колебаниями из года в год и зависит от гидрологических условий обитания криля (Quetin et al., 1994). Общее количество

выметанных икринок положительно коррелируется с длиной тела рачков, составляя 1700–3600 шт. (Cuzin-Roudi, 2000; Siegel, 2000). Полное развитие выметанной икры от стадии яйца до заключительной личиночной стадии протекает в среднем за 130 суток (Ikeda, 1984; 1985). После выклева личинки всплывают и обитают в слое 30–100 м от поверхности океана. Примерно каждые 9–28 дней происходит линька молоди, способствующая ее росту при температуре воды от минус 1 до +3 °C.

В результате продолжительного созревания и вымета икры яйца и личинки рассеиваются на очень большой акватории океана в течение продолжительного времени, что способствует выживанию молоди криля в суровой антарктической водной среде (Ross, Quetin, 2000).

В наиболее изученных секторах Антарктики – Атлантическом и Индоокеанском, установлен фактор раздельного обитания возрастных групп криля, которые разобщены в пространстве и занимают определённые широтные зоны. Основные концентрации криля в тёплом периоде года сосредоточены у кромки льдов и в зонах антициклонической завихренности вод в верхнем 100-метровом слое выше сезонного пикноклина. В весенний период Южного полушария начинается массовая миграция (вынос) криля из покрытой льдом шельфовой зоны Антарктиды или островной зоны в открытые воды над континентальным шельфом и далее на север вплоть до Южного полярного фронта (50–55° ю. ш., ЮПФ). В этот период происходит интенсивное развитие фитопланктона, что способствует активному питанию и размножению рачков. Эти процессы положительно коррелируют с суточным ритмом потребления кислорода в зависимости от массы тела рачков (Лушов, Ефимов, 1981). Одновременно с сезонным выносом (экспатриированного) к северу морского льда и айсбергов происходит миграция молоди криля второго года жизни (1+) и взрослых особей (возраст 2+, 3+) (Рябчикова, 1978; Асеев, 1981; Брянцев и др., 1983). А.Г. Наумов (1962, 1978), Р.Р. Макаров (1972), Н.М. Воронина (1977), Э.З. Самышев (1991), учитывая репатриацию какой-то части взрослого криля и

его молоди в прибрежную зону, предположили существование основы ареала криля в Прибрежном Антарктическом течении (ПАТ) и в водах моря Уэдделла.

Жизненный цикл криля проходит в прибрежной зоне в системе течений и круговоротов, важнейшими из которых являются: ПАТ (направленное к западу — течение Восточных Ветров); Антарктическое Циркумполярное течение (АЦТ) — течение Западных Ветров, направленное на восток; субполярные циклонические круговороты — круговорот Уэдделла, захватывающий акватории морей Уэдделла и Лазарева, круговорот Росса в морях Росса и Амундсена; цепи небольших круговоротов и меандров в Индоокеанском секторе Антарктики (Макаров, 1972; Асеев, 1978; Рябчикова и др., 1979; Брянцев и др., 1983; Everson, Murphy, 1987; Самышев, 1991; Пахомов и др., 2010; Everson, 2000).

Позже Фолькер Зигель, Денис Сологуб подтверждают полученные ранее данные о том, что регионы морей Беллинсгаузена и Уэдделла являются важными источниками поступления личинок криля в район Антарктического полуострова (Siegel et al., 2013; Сологуб, 2015), включая и саму акваторию вокруг Антарктического полуострова (Perry et al., 2019).

Спектр питания криля включает в себя исключительно широкий ассортимент пищевых ресурсов: нано- и макропланктон, диатомовые водоросли, зоопланктон, в основном копеподы, детрит, отмечен также каннибализм. В условиях изобилия пищи криль питается сверхинтенсивно, но способен голодать многие месяцы, не впадая при этом в гибернацию и сохраняя существенные резервы липидов, уменьшаясь в размерах в период голодания. Рачки способны одинаково хорошо жить не только в открытых водах, но и под морским льдом, как разрозненно — отдельными особями, так и в плотных косяках, способных мигрировать на большие расстояния со скоростью до 30 км в сутки. Криль занимает намного более широкую экологическую нишу, чем зоопланктон и планктоноядные рыбы. Следует добавить, что благодаря высокому содержанию в водах Круговорота Уэдделла (КУ) растворенного кислорода (8–9 мл/л), концентрациям растворенного кремния, минерального фосфора и нитратного азота (55–90 мкг-ат/л, 1,8–2,1 и 26–31 мкг-ат/л, соответственно (Батрак, 2009), создаются

благоприятные условия для зимовки криля, поедания диатомовых водорослей с нижней поверхности льда, а также питания донным детритом, осуществляя, таким образом, транспорт органического железа к поверхности — в зону развития фитопланктона (Промысловое описание, 1986; Самышев, 1991; Atkinson et al., 2011).

Измерить индивидуальный рост рачков в природных условиях невозможен вследствие дрейфа животных с течениями и их миграцией. Статистическое изучение размеров *E. superba* в полевых сборах не дало однозначного ответа на вопрос о возрастной структуре этого вида. Максимальная длина криля достигает порядка 63 мм, при продолжительности жизни 5–7 лет (Асеев, 1978; 1983; Макаров, 1980; Siegel, Loeb, 1995). Размерные кривые по-прежнему остаются основным материалом для популяционных исследований эвфаузиид в районе Антарктического полуострова и сопредельных вод, как независимой популяции, а выделенные по тем или иным признакам группировки рачков считаются как субпопуляции (Спиридонов, 1987).

В настоящее время, используя современные методы регистрации возраста по линиям кутикулы стебельков его глаз (Kilada et al., 2017; Krafft et al. 2016; Zhu et al., 2018; Kawaguchi et al., 2019), однозначного ответа по возрасту не получено. Для достижения положительного результата обозначенного вопроса предлагалось проведение в 2020 г. семинара по межлабораторной калибровке данных по определению возраста криля (WG-EMM, 2019).

В уловах наблюдают от двух-трех до пяти размерных групп криля (Латогурский, Голов, 1988; Siegel, 1986; 1988; Жук, 2012; 2013; Okuda, Kiyota, 2012). Самки достигают половозрелости в возрасте 2+, 3+, самцы — 3+ (Hosie et al., 1988; Siegel, Loeb, 1994) при длине тела 38–41 мм.

1.2.2 Распределение и структура популяции антарктического криля

Исследованиями установлено, что в ЮО существуют два кольца повышенной плотности скоплений антарктического криля. Северное кольцо этих скоплений приурочено к оси вторичного океанического фронта — Антарктической

дивергенции (АД) в зоне $59\text{--}61^\circ$ ю. ш. Южное кольцо скоплений формируется в зоне ПАТ к югу от $65\text{--}70^\circ$ ю. ш. с максимальной концентрацией криля над границей внешнего шельфа и континентального склона (Состояние..., 1988) (Рисунок 1).

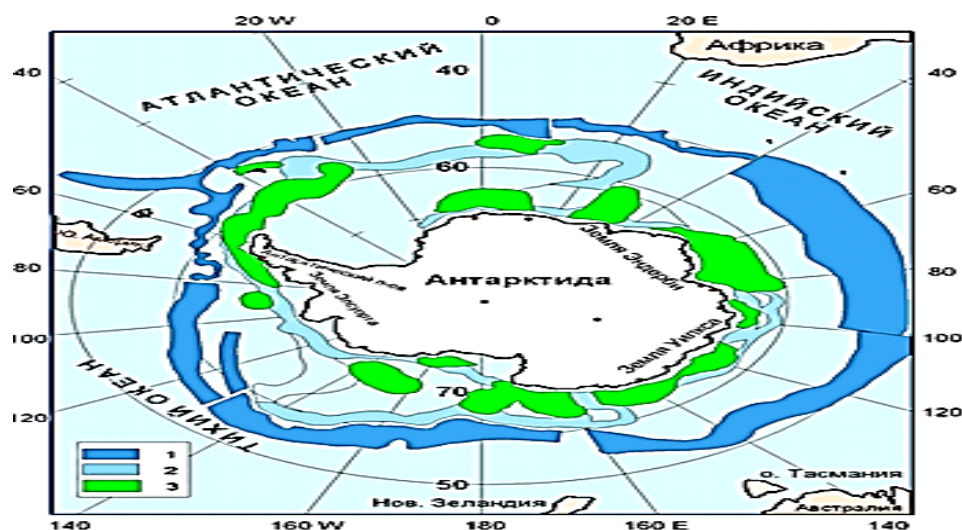


Рис. 1. Пространственная структура антарктических вод и распределение антарктического криля (по Парфенович, 1982): 1 — Южный Полярный фронт, 2 — Вторичная фронтальная зона Антарктики, 3 — Положение наиболее плотных скоплений криля

Наряду с меридиональным пассивным выносом рачков течениями от побережья Антарктиды на север до Южного полярного фронта (ЮПФ) и обратно с глубинной водной массой, криль совершает активные круглосуточные вертикальные миграции. С наступлением светлого времени суток рачки опускаются от поверхности океана в слой 150–200 м, иногда до глубин 400–600 м. С наступлением сумерек начинается активная миграция рачков к поверхности океана и рассеивание их в слое 20–60 м, иногда занимая всю толщу воды от поверхности до дна (на глубинах островного шельфа менее 200 м). Скорость вертикального перемещения рачков достигает 2 см/сек (Atkinson et al., 2011).

Доказательством важности сбора информации с использованием крилевых судов в качестве платформы для сбора акустических данных по оценке численности и распределения плотности местного криля в течение промыслового

сезона, в том числе и вертикальных миграций, продемонстрировано АНТКОМ (Niklitschek, Skaret, 2016; Watkins et al., 2016; Wang et al., 2017; Wang et al., 2017).

В этом контексте являются значимыми работы норвежских ученых (Klevjer et al., 2019), которые используют стационарные платформы, обращенные вверх в подрайоне 48.2, для оценки влияния вертикального распределения криля на результаты съемки.

Xinliang Wang в соавторстве (2017) изложили общую тенденцию пространственно-временного изменения акустической плотности и характеристик скоплений криля, различия их вертикального распределения в разные месяцы (февраль–май) 2016 г., взаимосвязь между промысловым усилием и различными факторами, включая характеристику скоплений с пространственными перемещениями. Работа выполнена по материалам, собранным научным наблюдателем на борту китайского судна «*Fu Rong Hai*» за один год, что не позволило провести сравнительный анализ вертикальных миграций криля в межгодовом и межрегиональном контексте. В данной публикации, в равной мере, как и других, отсутствуют наглядные изображения (эхограммы) скоплений криля из районов промысла. Определенный интерес о наличии эхограмм (четыре), на которых изображены суточные вертикальные перемещения шуковидной белокровки (*Champsoccephalus gunnari*) и ныряющие млекопитающие в поиске криля, представлены в работах Тора Клевьера и Георга Скарета (Klevjer, 2019; Klevjer, Skaret, 2019).

На практике промысла криля отмечено три типа их стайности или агрегированности.

Мелкомасштабный — способность рачков к агрегированию.

Мезомасштабный — распределение агрегаций криля в пределах отдельных участков и районов.

Макромасштабный — расположение традиционных и потенциальных участков и районов промысла криля. В пределах этих трёх уровней выделены рассеянные (дисперсные) и сцепленные (когезионные) виды агрегаций криля (Методические рекомендации..., 1986; Касаткина, 2004).

Выявлена присущая крилю тенденция формирования в большей степени мелких стай, чем крупных. Биомассу менее 1 т имеют более 93 % всех стай в подрайонах 48.1–48.3 и более 96 % — в подрайоне 48.4 (Южные Сандвичевы острова). Наиболее распространены сцепленные формы агрегаций криля горизонтальной протяженностью менее 30–100 м и вертикальным развитием менее 10 м. Крупные стаи криля очень редки, горизонтальная протяженность более 50 м присуща только 8 % всех агрегаций (Акшин, 1998; Касаткина, 2004; Miller, Hampton, 1989). Среднестатистические оценки плотности стай криля в различных подрайонах составляли 50–80 г/м³, максимальная плотность достигала 300–400 г/м³. Однако промысловые скопления рачков имеют горизонтальную протяженность 3–6 миль и расстояние между стаями 50–100 м. Плотность скоплений достигала 800–1000 т/кв. миля (Касаткина, 2004).

В Атлантическом секторе Антарктики молодь криля возрастного класса 1+ сосредоточена в основном в прибрежных круговоротах вод вдоль всего Антарктического полуострова, от залива Маргерит (остров Аделаиды) на юге до пролива Брансфилд на севере (Latogursky, Makarov, 1991). В северо-восточную часть моря Скотия и далее в зону острова Южная Георгия молодь криля переносится водами Западного Прибрежного течения и водами моря Уэдделла. Взрослые особи *E. superba* вместе с фитопланктоном переносятся от северной части Антарктического полуострова к острову Южная Георгия водами Южной ветви АЦТ. При этом на основе моделирования течений предполагается, что длительность переноса криля из моря Уэдделла в воды острова Южная Георгия составляет около 20 месяцев, а из района Антарктического полуострова — около 10 месяцев (Fach et al., 2006).

Динамика популяции антарктического криля характеризуется сильной межгодовой изменчивостью, жизненный цикл, которой, как известно, тесно связан с зимним морским ледяным покровом и океаническими течениями (Murphy et al., 2017). Среди множества внешних факторов окружающей среды, которые влияют на популяцию криля и распределение, отводится исследованию частоты его длины, собранных в рамках независимых данных Программы

АНТКОМ по мониторингу экосистем (СЕМР) и схемой АНТКОМ по научному наблюдению (SISO), которые могут быть использованы для выявления тенденций в структуре населения и пополнении с течением времени (WG-ЕММ, 2019).

1.2.3 Особенности пространственно-временной изменчивости размерного состава антарктического криля

Пространственное распределение антарктического криля, как представителя антарктического планктона, определяется динамикой водных масс (Артамонов и др., 2003; Артамонов, 2005, Mackintosh, 1972; Schmidt et al., 2011; Thorpe et al., 2007; Thompson et al., 2009; Dotto et al., 2016). Именно они в сочетании с урожайностью поколений и предопределяют пространственную и межгодовую изменчивость размерного состава криля, которая характерна для исследуемого подрайона и сопредельных вод (Латогурский, Голов, 1988; Латогурский и др., 1990; Савич, Жук, 2004; Жук, 2013; Ichii, Naganobu, 1996; Brierley et al., 2002). Для размерного состава *E. superba* в районе Антарктического полуострова характерна значительная межгодовая и сезонная изменчивость, когда в один год на одном и том же промысловом участке преобладают особи старших размерно-возрастных групп и совершенно отсутствует молодь, а в следующем сезоне в уловах могут преобладать неполовозрелые особи (Siegel et al., 1997; Daly, 2004).

При этом по-прежнему актуальным является вопрос о сезонных изменениях в распределении стадий жизненного цикла криля, его размерной структуры на шельфе и вне шельфа подрайона Антарктического полуострова, включая юго-западную Атлантику. Анализ этих данных за период с 1920-х по 2016 гг. позволил иллюстрировать (Рисунок 2) (Perry et al., 2019) наличие криля на шельфе и вне шельфа между 20° и 80° з.д. в качестве основных районов распространения относительно шельфа в течение астрального весенне-осеннего периода и перераспределения молоди криля из океанических вод обратно в шельфовые воды в течение астральной весны. Эта схема отражает изменение распределений возрастных групп криля без учета механизмов таких как адвекция, миграция или дифференциальная смертность.

Кроме того при распределении размерно-возрастных групп антарктического криля следует принять во внимание о результаты тралово-акустической съемки АНТКОМ, выполненной в январе-феврале 2000 г. (Рисунок 3) (SC-CCAMLR, 2000; Siegel et al., 2004, цит по Сологуб, 2016).

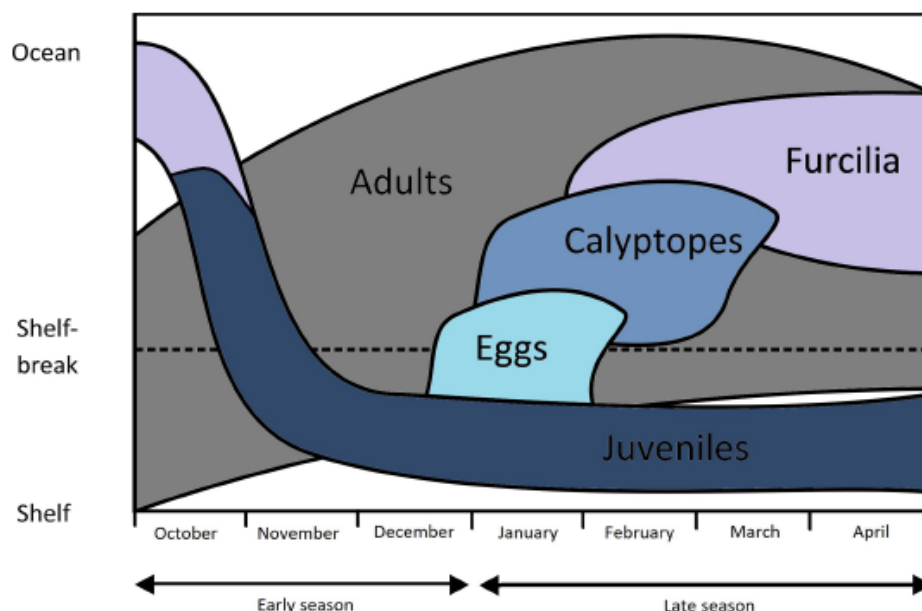


Рис. 2. Схема сезонных изменений в распределении стадий жизненного цикла криля на шельфе и вне шельфа между 20° и 80° з.д.

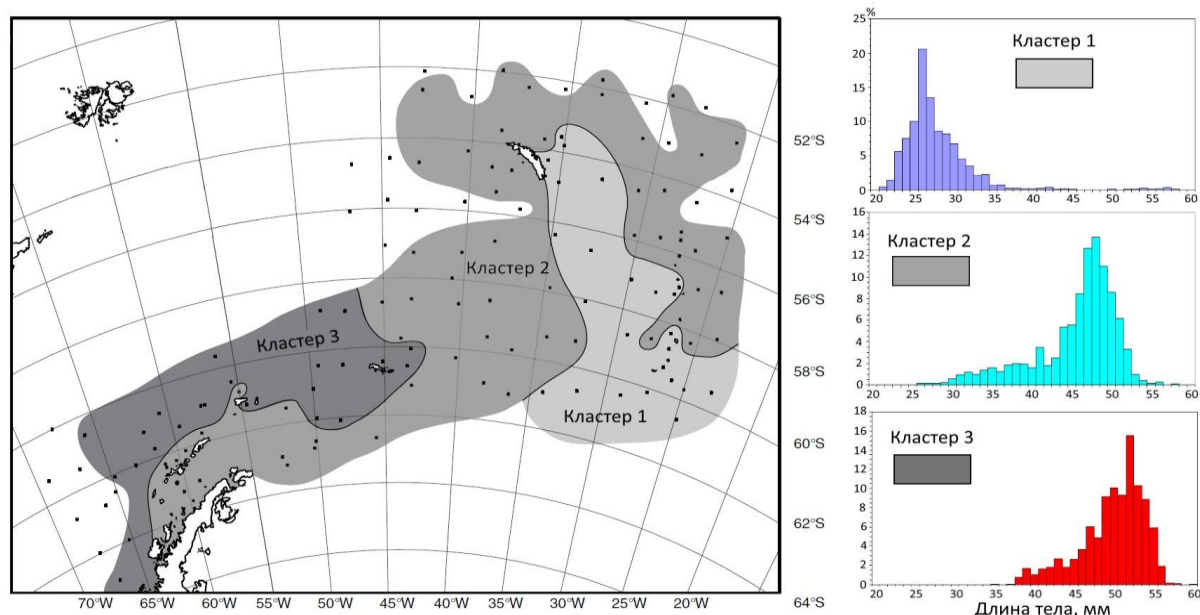


Рис. 3. Распределение трех типов (кластеров) размерного состава антарктического криля в Атлантическом секторе Антарктики по результатам тралово-акустической съемки АНТКОМ в январе-феврале 2000 г. (по SC-CCAMLR, 2000; Siegel et al., 2004).

Благодаря стайности рачки образуют скопления размер и форма которых, имеет значительное влияние на трофические взаимодействия и биохимические потоки, там они спариваются, нерестятся и продолжают свою жизнь. Параметризация изменчивости по размеру и форме стай является полезным шагом к пониманию функционирования экосистемы Южного океана. В целом существуют четкие ограничения размера и формы скоплений антарктического криля, зависящие от размерно-возрастной структуры рачков в этих скоплениях (Ryabov, Tarling, 2019). Тем не менее, как показывает практика промысла, эти исследования не сталкивались с фактами, когда в период промысловых работ на шельфе острова Южная Георгия в августе 2003 г. было поймано в течение пяти минут около 50 т криля. Это свидетельствует о многообразии плотности и форм агрегированности криля, их неизученности, что в публикациях не встречается.

1.2.4 Динамика численности и биомассы антарктического криля

На состояние численности и биомассы криля, а также на размеры и плотность его скоплений наибольшее влияние оказывают величина его пополнения в предыдущие годы и уровень выживаемости рачков. Гидрометеорологические факторы среды, в том числе и динамика вод, на запас криля и плотность его агрегаций в протекающем сезоне влияют в гораздо меньшей степени (Самышев, 1985; Состояние..., 1988; Акшин, 1998). Хорошо известны долгопериодные изменения запаса криля в АсА, имевшие колебания более порядка за 11-летний цикл. Основной причиной таких колебаний считаются межгодовые вариации величины годовых классов криля (Асеев, 1978; Бибик, 2006; Atkinson et al., 2004, 2009).

Высокая биомасса (запас) криля, как результат высокого пополнения в предыдущие сезоны, достаточно положительно коррелирует с ранним нерестом рачков (декабрь–февраль), повышенной ледовитостью региона и продолжительностью зимнего периода. Низкая биомасса криля из-за слабого уровня пополнения коррелирует с поздним окончанием нереста (март) и снижением ледовитости океана. Реальное снижение биомассы криля происходит в

случае, когда низкое пополнение наблюдается несколько лет подряд (3–4 года). Для восстановления запаса прежнего уровня необходимо минимум 2–3 года с высоким уровнем пополнения (Бибик, 2006; Бибик, 2007).

Особую роль в жизненном цикле *E. superba* играет ледовитость Южного океана. Важнейшим фактором, обуславливающим пополнение антарктического криля, является количество морского льда зимой и степень его отступления летом (Siegel, 1995; Siegel, 1997; Siegel, Loeb, 1995; Loeb et al., 1997; Wiedenmann et al., 2009; Flores et al., 2012). Изобилие криля, большое количество его скоплений повышенной плотности в летний сезон положительно коррелирует с пониженной до определенного уровня ледовитостью в предыдущую зиму. При низкой ледовитости ветровая активность увеличивает толщину перемешанного слоя, что препятствует развитию фитопланктона. И наоборот, высокая степень ледовитости снижает количество света для формирования фитопланктона и препятствует его развитию (Wiedenmann et al., 2009). Таким образом, фактор крайне низкой и высокой степени ледовитости океана негативно влияет на кормовую базу, что сказывается на резком уменьшении количества и плотности скоплений криля.

В 90-х гг. прошлого века был открыт международный проект KRILLBASE с целью изучения двух ключевых зоопланктеров Антарктики — криля и сальп. Криль является важнейшим звеном в пищевой цепи «фитопланктон — крупные хищники». Сальпы — оболочники, конкурирующие с крилем в отношении фитопланктона. Основатели проекта — Ангус Аткинсон (Британская антарктическая служба), Фолькер Зигель (Институт морского рыболовства, Германия) и Евгений Пахомов (Отдел наук о Земле и наук об океане Университета Британской Колумбии, Канада). Эти учёные объединили данные исследований 11 стран и создали базу проекта на основе более 9000 станций, охватывающих летние сезоны с 1926 по 2004 г. В итоге проекта были изложены результаты последствий прямой конкуренции криля и сальп. В годы усиления АЦТ более тёплые воды проникают на юг в высокоширотную зону Антарктики и создают благоприятную кормовую базу для массовой вспышки численности сальп в летний сезон (Atkinson et al., 2004; Bombosch, 2008; Krillbase, 2011). Обилие

сальп в периоды нереста криля негативно влияет на его воспроизводство и выживаемость на ранних стадиях онтогенеза (Абиотические факторы..., 2000).

Таким образом, наибольшее влияние на состояние запаса *E. superba* в крупных регионах Южного океана оказывает величина пополнения его биомассы в течение нескольких предыдущих лет и уровень выживаемости рачков. Гидрометеорологические факторы, в том числе важнейший из них — ледовитость океана, напрямую влияют на сроки и продолжительность нереста криля, развитие кормовой базы, на численность сальп — прямого конкурента криля в отношении фитопланктона, на образование скоплений, агрегаций рачков. Кроме того, двукратный нерест половозрелых самок в сочетании с высокой плодовитостью и относительно небольшой продолжительностью жизненного цикла обеспечивает высокую репродуктивную способность вида, что является одним из важнейших условий стабильного сохранения высокой численности антарктического криля.

1.2.5 Оценка запаса антарктического криля

Рациональному использованию биоресурсов *E. superba* необходимо знание по определению его общей биомассы в главных регионах Южного океана — Атлантическом, Индоокеанском, Тихоокеанском секторах. Ниже приводятся данные о величине запаса антарктического криля, полученные за период 1958–2009 гг. (Кухарев и др., 2014) (Таблица 1). Величина общего запаса *E. superba* определялась по трём методам учёта — косвенного, тралово-акустических и гидроакустических съёмок и прямого учёта по удельной плотности скоплений криля (г/кв. м).

Косвенный метод определения общего запаса основан на потреблении криля морскими животными, рыбами и птицами (естественная элиминация). Крилем питаются усатые киты (до 50–80 % рациона питания), все виды ластоногих (кроме морского слона), пингвины, трубконосые птицы, более 30 видов придонно-пелагических рыб, некоторые виды кальмаров. По многим оценкам годовое потребление ими криля достигает 470 млн т. Поэтому по «оптимистической» оценке ученых величина запаса криля колеблется от 0,8 до 6 млрд т, а величина

возможного ежегодного промыслового изъятия – от 50 до 150 млн т, т. е. в среднем около 100 млн т.

Величины запаса криля, рассчитанные на основе тралово-акустических и гидроакустических съёмок, оцениваются приблизительно от 80–100 до 400–600 млн т. Такие межгодовые вариации оценки биомассы в большей степени связаны с изменениями в методологии и технологии гидроакустических съёмок, нежели в изменении запаса криля (Касаткина, 2004).

Предполагается, что в прошлом была допущена недооценка запаса криля из-за неверной калибровки эхоинтеграторов, а также вследствие невозможности учёта криля подо льдом в прибрежной зоне (Atkinson et al., 2009; Warren, Demer, 2010).

Общепринятой величины запаса *E. superba* в Антарктике не существует, то в качестве ориентира учёные опираются на результаты анализа исторических данных KRILLBASE — величину 133–398 млн т (Atkinson et al., 2009). Примерно 70–75 % общего запаса криля приходится на АсА, между 0 и 90° з.д.

Прямой учёт оценки запаса криля осложнён тем, что удельная плотность скоплений криля варьирует буквально от нескольких граммов до десятков килограммов на один квадратный метр акватории океана. Данные учёных ЮгНИРО (г. Керчь), принятые к сведению мировой рыбохозяйственной наукой, свидетельствуют о следующем. На примере одного из крупных регионов обилия криля — моря Содружества эмпирическим путём была рассчитана средневзвешенная биомасса криля для всего Индоокеанского сектора Антарктики (ИОсА), равная 40 г/кв. м, а суммарная биомасса криля составила 240 млн т. В промысловых агрегациях, доступных для рентабельной работы флота, сосредоточено всего лишь 3–10 % этого запаса, поэтому средний объём его изъятия может составить около 2,7 млн т, а с учётом уловистости орудий лова — всего 0,3–0,6 млн т.

Сложная внутривидовая структура *E. superba* обусловлена приуроченностью к циркумполярной системе ЮО и неоднородным распределением криля в пределах своего ареала. Поэтому популяционная структура этого вида состоит из 2–3 (5–6)

сообщающихся субпопуляций криля. Этот важнейший фактор позволяет вести промысел криля без подрыва его общего запаса.

Таблица 1

Общий запас криля, определенный различными методикам за период 1958–2009 гг.

Год	Район	Запас, млн т	Метод учета	Автор работ по учету
1	2	3	4	5
1958	Антарктика	1350	Косвенный, на основе рациона усатых китов	Pequegnat W.E. Whales, plankton and man // Sci. Amer. 1958. P. 84–90; цит по Самышев Э.З. 1991. Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале. М.: Наука, 1991. 168 с.
1962	Антарктика	800	Косвенный	McQuillan H. The antarctic krill // West. Fish. 1962. Vol. 63, No. 4; цит по Самышев Э.З. 1991. Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале. М.: Наука, 1991. 168 с.
1968	Антарктика	6000	Косвенный, на основе рациона усатых китов	Nemoto T. Feeding of baleen whales and krill and the value of krill as a marine resource in the Antarctic // Symp. Oceanogr. Antarct. Santiago, 1968. Цит по: Konishi1, Kenji, Tsutomu Tamura, Tatsuya Isoda, Ryosuke Okamoto, Takashi Hakamada, Hiroshi Kiwada, and Koji Matsuoka 2009. Feeding Strategies and Prey Consumption of Three Baleen Whale Species within the Kuroshio-Current Extension// Atl. Fish. Sci., Vol. 42: 27–40 // www/journal.nafo.in
1978	Антарктика	90–100	Траловая съемка	Богданов А.С., Любимова Т.Г. Советские исследования криля в Южном океане // Рыбное хоз-во. 1978. № 10. С. 6–9
1978	Море Содружества	580	Тралово- акустическая съемка	Асеев Ю.П. 1978. К изучению размерно-возрастной структуры и величины популяции антарктического криля (<i>Euphausia superba</i> Dana) в Индо-океанском секторе Антарктики. Автореф. Севастополь: Изд-во ИнБЮМ, 1978. 25 с.
1978	Антарктика	1500	Тралово- акустическая съемка, пересчет	Асеев Ю.П. 1978. К изучению размерно-возрастной структуры и величины популяции антарктического криля (<i>Euphausia superba</i> Dana) в Индоокеанском секторе Антарктики / Автореф. Севастополь: Изд-во ИнБЮМ, 1978. 25 с.

1	2	3	4	5
1981	Западная Антарктика / вся Антарктика	210/44 0	Гидроакусти- ческая съемка	Kalinowski J. The biomass of krill in the eastern part of Bransfield Strait, March 1981 // Pol. Polar Res. 1984. Vol. 5, No. 1/2. P. 99-105.
1991	Море Содружества	20–100	Тралово- акустическая съемка	Самышев Э.З. Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале. М.: Наука, 1991. 168 с.
2000	Антарктика	61–155	Тралово- акустическая съемка	Nicol S., A. Constable and T. Pauly. 2000a. Estimates of circumpolar Antarctic krill abundance based on recent acoustic density measurements. CCAMLR Science 7:87–99 // http://www.ccamlr.org
2009	Антарктика	133– 398	Гидроакусти- ческая съемка, анализ исторических данных KRILLBASE	Atkinson, A., Siegel, V., Pakhomov, E.A., Jessopp, M.J. and Loeb, V. (2009) A reappraisal of the total biomass and annual production of Antarctic krill. Deep-Sea Research I 56, 727–740.

1.3 Промысел и прогноз вылова антарктического криля

Промысел криля в ЮО ведётся в зоне действия Конвенции по сохранению морских живых ресурсов Антарктики, которая вступила в силу 7 апреля 1982 г. как часть Системы Договора об Антарктике (Рисунок 4). В настоящее время практически весь промысел *E. superba* сосредоточен в Атлантическом секторе Южного океана.

Началом промысловых экспериментов по освоению ресурсов антарктического криля следует считать 1962 г., когда судно РТ-202 «Муксун» (АтлантНИРО) в составе научно-поисковой экспедиции МРХ СССР в АсА выловило первые 3 т криля (Литвинов, Сундаков, 2003). В 1974 г. добывающий флот МРХ СССР выловил в этом секторе уже 19 тыс. т криля. В 1976 г. первые промысловые уловы криля здесь получили суда Польши и Чили. До 1991 г. в данном секторе работали в основном советские суда, а международный промысел *E. superba* в этом регионе и прилегающих водах начал развиваться лишь с 1992 г. за счёт постсоветских государств — России, Украины, а также флотом Польши, Японии, Южной Кореи и других государств.

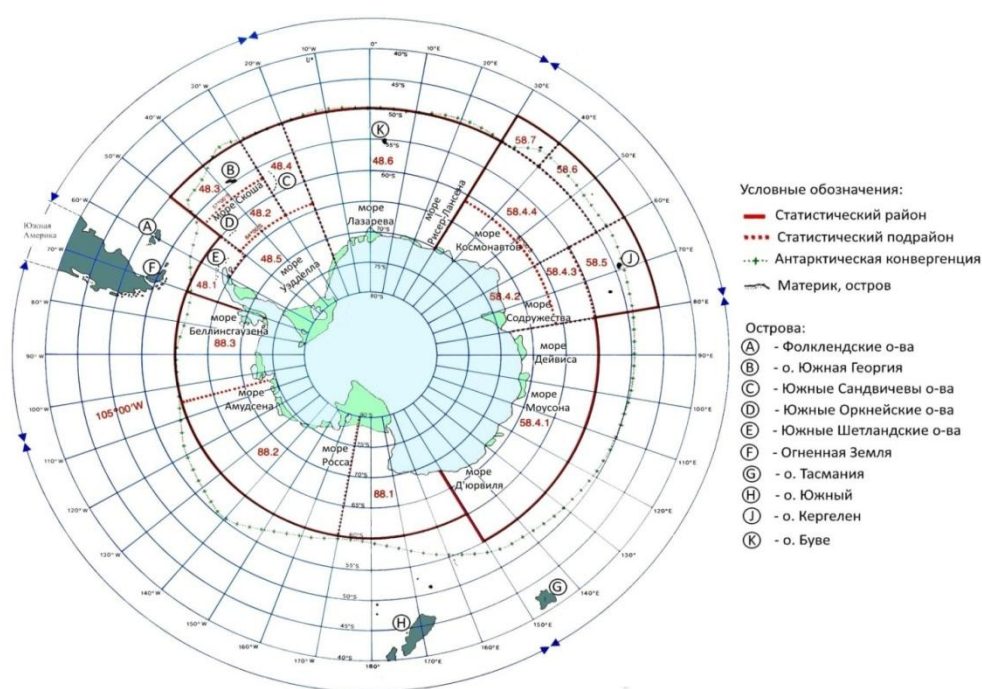


Рис. 4. Карта действия зоны Конвенции АНТКОМ

Польские учёные организовали первую экспедицию в Антарктику в 1973 г. на НИС «Профессор Седлецкий», который исследовал районы Фолклендских островов и острова Кергелен. В 1975 г. к нему присоединился траулер «Тазар» для экспериментального лова обнаруженных скоплений криля. В летние сезоны 1976–1977 гг. уже 5 польских добывающих судов вели промысел в морях Скотия и Беллинсгаузена. До 1981 г. поляки совершили 5 антарктических экспедиций в этот регион с целью промысла криля, изучения его биологии, отработки техники промысла и технологии переработки. Работы проводились в рамках Международных программ в сотрудничестве со специалистами других стран.

В 1975 г. к научно-промысловым исследованиям криля в АсА приступила Германия в сотрудничестве с учёными Англии, Франции и Аргентины с целью изучения возрастной структуры популяции и динамики пополнения биомассы рачков.

Норвежские специалисты Полярного института первую экспедицию по изучению криля провели в 1976 г. в море Скотия. В течение последних лет (2007–2020 гг.) именно норвежский добывающий флот ведёт наиболее эффективный

промысел криля в первых трёх главных подрайонах Атлантического сектора, используя самые современные орудия лова и технологию переработки сырья.

Соединённые Штаты Америки вели исследования криля в наиболее продуктивной зоне на ограниченных участках – в море Росса, в шельфовой зоне Антарктического полуострова и в море Скотия, а в последние годы сконцентрировали изучение биологии криля на антарктических станциях.

Самый богатый опыт исследований антарктического криля имела Япония, которая начала его изучение ещё в 30-х гг. прошлого столетия с проведением китобойного промысла. К масштабной добыче криля японцы приступили одновременно с Советским Союзом в начале 1970-х гг. и проводили его во всех секторах Антарктики, завершив в 2012 г.

В Тихоокеанском секторе Антарктики советские исследования криля начались в 1967 г., а добывающий флот проводил промысел с 1977 по 1991 г. (остров Баллени). Япония прекратила здесь работы в 1992 г.

В антарктических морях Индоокеанского сектора ЮО, между 20 и 145° в.д., первая научно-исследовательская экспедиция по приказу МРХ СССР состоялась в декабре 1972 г. – апреле 1973 г. Учёные ЮгНИРО и научно-технические специалисты ППП Югрыбпоиск (г. Керчь) положили начало многолетним исследованиям по изучению биологии, распределения и запаса криля, отработке тактики и техники его лова. По результатам этих работ приказом МРХ СССР была организована ежегодная промысловая экспедиция криледобывающего флота ВРПО «Дальрыба» в море Содружества. Флот в составе 20–37 промысловых судов БМРТ, РТМА, СТР и до трёх научно-исследовательских и поисковых судов вёл здесь промысел криля в 1978–1984 гг. Ежегодный вылов криля флотом за летний сезон, с декабря по апрель, составлял 27–119 тыс. т, при среднесуточном вылове 40–70 т.

В результате исследований была выявлена важнейшая особенность. Окраинные моря Индоокеанского сектора Антарктики отличаются от других регионов более низкой продуктивностью фитопланктона. Цветение вод здесь относительно кратковременное, а в прибрежной зоне отмечается лишь на

локальных участках акватории. Уже во второй половине января на акватории морей этого сектора (особенно в море Содружества) образуются скопления «красного» пищевого криля, пригодного для выпуска бланшированного мяса. Советский промысловый флот по информации поисковых и исследовательских судов в январе–феврале вёл промысел красного криля в морях Дейвиса и Содружества. В феврале–марте, смещаясь на запад, флот продолжал работать в морях Космонавтов, Рисер-Ларсена и Лазарева, а в апреле подходил к основной группе судов в Атлантический сектор, где к этому времени уже заканчивалось цветение вод, и продолжал промысел красного криля для выпуска консервов из его мяса. Такая стратегия позволила продлевать промысел пищевого криля (мясо криля) на 2 месяца. Исследования криля и его промысел в Индоокеанском секторе Антарктики советский флот прекратил в 1991 г. Японский флот вёл промысел в этом секторе в течение 20 лет — с 1975 по 1995 г.

В 1970–1980-е гг. в Антарктике работало большое количество научно-поисковых и исследовательских советских и иностранных экспедиций по изучению сырьевых ресурсов этих вод и обеспечению крупномасштабного промысла криля. Основная доля годового мирового вылова *E. superba* принадлежала советскому флоту — от 80 до 93 %.

К 1982 г. мировая добыча *E. superba* достигла максимальной величины — 528 тыс. т. В Атлантическом секторе было выловлено 374 тыс. т (71 %), в Индоокеанском секторе — 148 тыс. тонн (28 %), в Тихоокеанском секторе Антарктики — 7 тыс. т криля (1 %) (Рисунок 5). Промысел криля осваивало 19 стран.

После прекращения в 1991 г. работы советского крупнотоннажного флота практически весь промысел криля сосредоточился в АсА. На протяжении последующих 16 лет ежегодный мировой вылов антарктического криля резко снизился и составлял около 100 тыс. т. С 2008 г. его вылов начал увеличиваться, а в 2010 г. здесь было выловлено уже 212 тыс. т рачков, что составило 34 % от порогового уровня, установленного АНТКОМ.

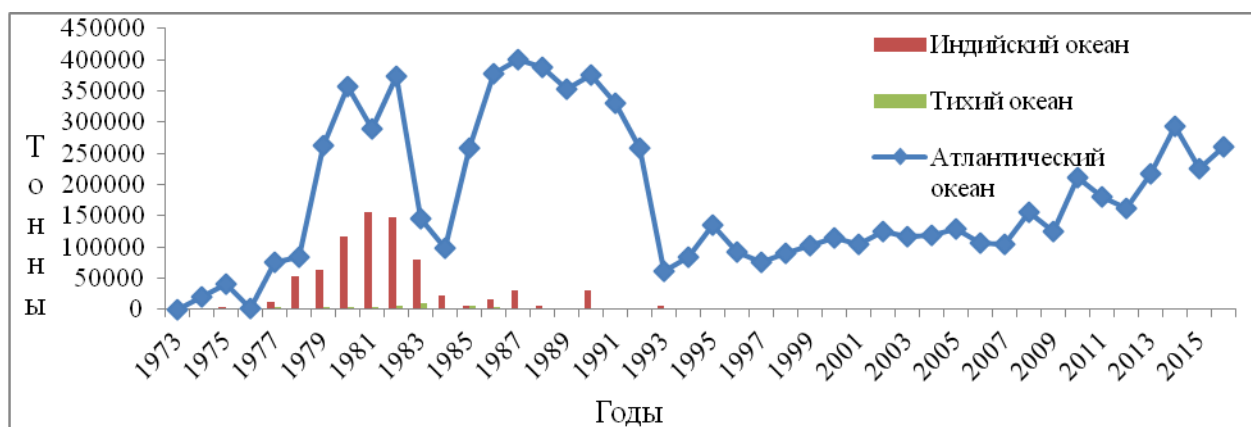


Рис. 5. Вылов антарктического криля в Мировом океане за период 1973–2016 гг. (FAO, 2016. FishStatJ <http://www.fao.org/fishery>)

Следует отметить, что с 2013 г. на промысле криля участвовало лишь пять государств без Российской Федерации, вылов которых в 2014 г. достиг 294 тыс. т, что было обусловлено вводом на промысел трёх норвежских крупнотоннажных судов. Вылов государств современным промыслом криля в АсА представлен на рисунке 6. С 2007 г. и по настоящее время первенство вылова принадлежит Норвегии. Это стало возможным благодаря грамотной стратегии и участию в промысле частных компаний, в том числе и при поддержке государства. В 2018 г. на долю Норвегии пришлось 65,5 % мирового вылова криля, затем следует Китай — 13,2 %. Замыкала список Чили — 4,5 % (Рисунок 7).

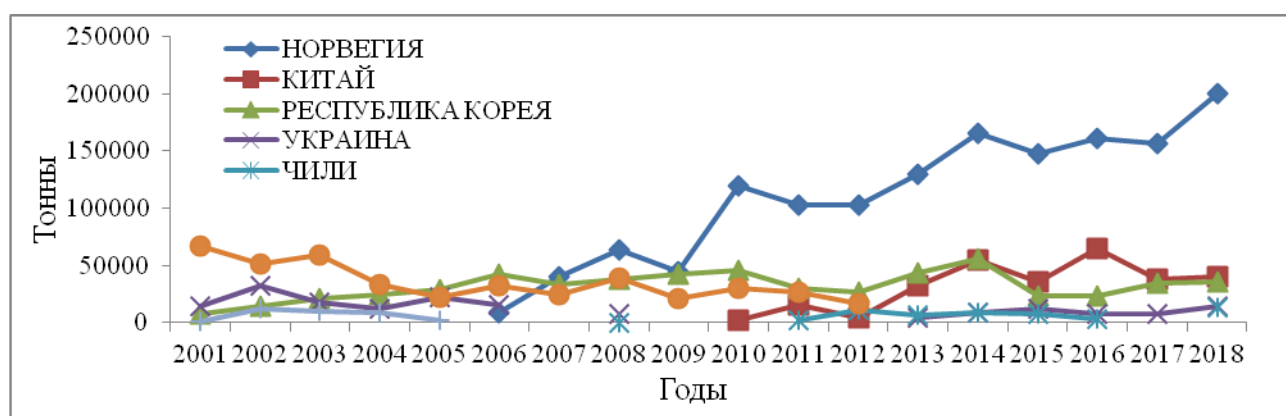


Рис. 6. Вылов антарктического криля в АсА по странам за период 2001–2018 гг.

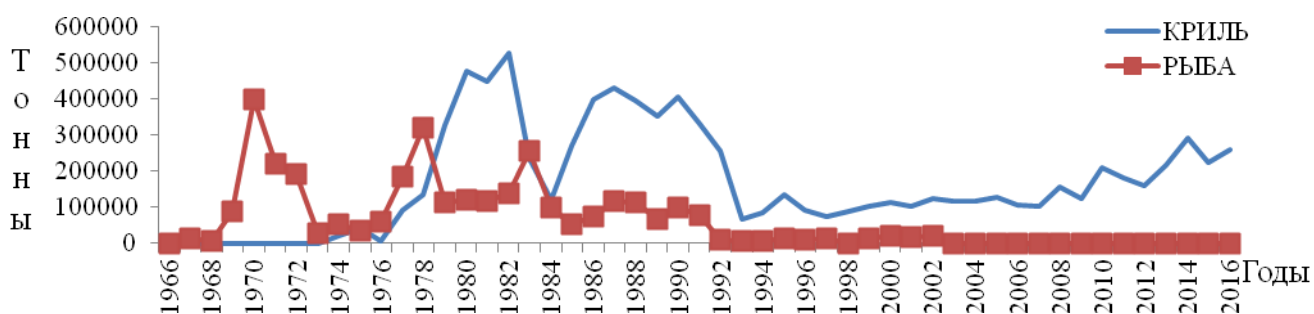


Рис. 7. Мировой вылов антарктического криля и рыб в водах Антарктики за 1966–2016 гг. (FAO, 2016. FishStatJ <http://www.fao.org/fishery>)

Способы лова антарктического криля, продукты его переработки

Особые качества криля-сырца диктуют определенный режим поступления его на переработку. Криль, поднятый на палубу при улове до 10 т и по времени не более 3-х часов, сохраняет свои свойства, необходимые для выпуска качественной продукции и не позволяет накапливать улов. На судовой фабрике способы переработки (выпуск крилевой муки, мяса криля и пр.) таковы, что для равномерной загрузки мощностей сырьем, требуется непрерывное поступление свежего криля.

В настоящее время у промысловых судов доставка сырья на судовую фабрику осуществляется либо традиционно – путем регулярного подъема трала с уловом на палубу, либо при помощи периодической откачки улова из кутка, работающего за бортом трала (способ непрерывного траления). По традиционной схеме, с регулярным подъемом трала с уловом на палубу, работает большинство добывающих судов. Норвежские суда применяют способ непрерывного траления.

Украинские суда на промысле криля работали по традиционной схеме с применением разноглубинных канатных тралов. Суда других государств применяют разноглубинные сетные тралы (Бибик, 2006; Бибик и др., 2007; Kawaguchi et al., 2009; Nicol, Endo, 1999; Payne et al., 2006).

Канатные тралы. Канатные тралы имеют ряд преимуществ перед тралами других конструкций, в частности, перед сетными тралами. Канатные тралы создают меньшее гидродинамическое сопротивление при буксировке, что

позволяет значительно увеличить площадь устья трала, протраленный объем воды и скорость траления (Акишин, 1998). По свидетельству научных наблюдателей, применение канатных тралов на промысле криля предотвращало гибель котиков, так как они имели возможность выйти из трала через канатную часть, а уловы канатного трала не отличаются от уловов сетных тралов.

Особенностью использования канатного трала является более длительная выборка по сравнению с сетным тралом, что на промысле криля становится существенным недостатком. Долговременная выборка снижает количество тралений в течение суток, но при хорошей промысловой обстановке суда выполняли до 20 тралений в сутки со средним уловом 10 т и суточным выловом 200 т. Величина суточного вылова сдерживалась только перерабатывающими возможностями судна. Кроме того, судну с канатным тралом весьма сложно осуществлять маневр или циркуляцию для облова небольшого скопления криля, но успешно для судна с подруливающим устройством.

Сетные тралы. Современным судам с высокопроизводительными перерабатывающими мощностями потребовалось существенно увеличить суточный вылов криля. Этого удалось достичь, применяя выборку при помощи сетного барабана, сократив время выборки и выполнив большее количество тралений за сутки. Увеличение промысловой производительности происходит и другим путем, за счет использования двух тралов поочередно.

Перечисленные прогрессивные инновации в работе сетных тралов позволяют теперь вылавливать и перерабатывать до 450 т криля в сутки. Судно с сетным тралом более маневренно и способно развернуться для нового захода на небольшое скопление, а также выполнять траление на циркуляции.

Проблемой применения сетных тралов с мелкоячеистой вставкой является наличие у них большого гидродинамического подпора, который способствует значительному отсеву и выбросу малоразмерных объектов лова из тралового мешка («эффект ведра») (Норинов, 2006). Кроме того, повреждения рачков в больших уловах приводят к утечке ценных химических веществ и ускоренной порче улова. Это в целом рассматривается как существенная проблема в условиях

современных высоких технологий переработки сырья. Недостатком сетных тралов является также попадание в них котиков даже при наличии специальных «окон» в сетном полотне для их выхода из трала.

Система непрерывного траления. С 2007 г. норвежские суда применяют на промысле криля систему непрерывного траления, которую именуют методом «экологичного траления» из-за его предполагаемой селективности (заявка на патент США 2006 США 0048436). Два бим трала по корме судна с уловом не выбираются на его борт и не подтягиваются к нему. В куток трала с уловом нагнетается воздух, и воздушный пузырь поднимает его на поверхность, после чего улов через шланг откачивается на судовую фабрику. В результате криль на переработку поступает не поврежденным и непрерывно.

Преимущества этой системы состоят в том, что трал может оставаться в воде, включая плавучие льды, в течение нескольких недель, и при этом на переработку постоянно поступает свежий, живой и неповрежденный криль, пригодный для выпуска любой продукции высокого качества. У судов, оборудованных системой непрерывного траления, вылов криля за сутки достигает 900 т при среднем показателе около 300 т/сутки (Nicol et al., 2011; Krafft et al., 2013).

В сезоны 2010–2011 гг. норвежская компания, используя на судах современные технологии добычи, переработки и выпуска новой продукции, сумела обеспечить вылов и обработку 100 тыс. т криля-сырца с годовым выпуском продукции (частично переработанной на небольшом береговом предприятии) на сумму 50,5–55,6 млн долларов США.

Антарктический криль или «розовое золото», как его сейчас называют промысловики, отличается уникальными пищевыми свойствами и имеет широкий спектр промышленного использования. Главной экономической целесообразностью вылова криля является его уникальная ценность как пищевого белка и сырья для получения продуктов (препаратов) медицинского и технического назначения.

Химический состав криля определяется сезонным изменением его биологического состояния (Андреев, 1976; 1982; Быков и др., 1978; Ильичёв,

1965; Bottino, 1975). В частности, резкое увеличение липидов в вегетационный период отражает скорее качественные изменения состава популяции рачков и прежде всего гибель части отнерестившихся особей (Быкова, 2001), что вызывает преобладание в уловах созревающих рачков высокой жирности.

Грамм (1977; цит. по Антарктический криль, 2001) приводит следующие результаты многих аналитических данных по химическому составу криля (%): влаги — 80,0 (77,9–83,1), белка — 13,0 (11,9–15,4), липидов — 2,8 (1,3–5,1), золы — 3,1 (2,8–3,4). Состав микроэлементов криля (Ag, Cd, Co, меди, Ni, свинца и цинка) имеет диапазон значения (моль/г) и зависит от конкретного места обитания (Tovar-Sanchez et al., 2009).

Мясо криля обладает высоким потребительским качеством и является одним из наиболее экологически чистых пищевых продуктов на планете (Сушин, Литвинов, 2002). Оно богато белками, содержит до 6 % жира, витамины группы В, D и др., набор незаменимых аминокислот, превосходя по этим показателям мясо теплокровных животных, соответствуя эталону белка, принятому ФАО.

Крилевая мука по содержанию аминокислот и витаминов группы В превосходит кормовую муку из каспийской кильки, которая считается наилучшей мукой, получаемой из рыбного сырья. Мука из криля незаменима при производстве высококачественных кормов для сельскохозяйственных животных, пресноводного и морского фермерства, а произведенный из хитина криля хитозан используется в медицине и служит ключевым ингредиентом в современном производстве косметики. Выделенные из сока криля ферменты дали положительные результаты при добавлении в стартовые корма рыб (Андреев, 2002). Крилевый жир богат натуральным и эффективным антиоксидантом астаксантином и содержит Омега-3 фосфолипиды, которые в рыбьем, тюленьем жире и в соевом масле отсутствуют.

Из криля были разработаны следующие виды продукции:

пищевые — паста «Океан» (коагулят) и консервы на ее основе, вареное и бланшированное мясо, фарш, консервы из мяса и фарша, изоляты, концентраты,

гидролизаты, каротиноиды, структурированные и формованные продукты, широкий ассортимент кулинарных изделий из пасты, мяса и фарша;

кормовые — кормовая мука (гранулированная, для стартовых кормов), сыромороженный криль, кормовые гидролизаты, корма химического консервирования, кормовые пасты, белково-минеральная добавка;

технические — хитин, хитозан и их производные, сорбенты, ферментные препараты;

парфюмерно-косметические — хитозан и его производные, каротиноиды;

медицинские — каротиноиды, ДНК, лекарственные препараты на основе хитозана и другие.

Накопленный опыт и материалы по химическому составу, биохимическим свойствам, технологической характеристике и комплексной технологии, обширность ареала, промысловые концентрации рачков в скоплениях подтверждают широкие возможности хозяйственного использования сырьевых ресурсов криля (Шуст, Бизиков, 2010; Губанов и др., 2014; Yuan et al., 2021).

По мере развития крилевого промысла учёные и добывающий флот столкнулись с таким важным фактором, как годовая изменчивость обилия криля в традиционных районах лова. Несмотря на положительную величину общей биомассы (запаса), количество и плотность скоплений криля исключали его рентабельный промысел в отдельные годы. Такие факты отмечены в водах острова Южная Георгия в 1969, 1978, 1984, 2009 гг. Похожая проблема возникала и в море Содружества во время широкомасштабного промысла криля в 70–80 гг. прошлого века. В годы, когда состояние запаса криля в этом регионе было на высоком уровне, суммарный вылов за короткий навигационный сезон – с января по март достигал 100 тыс. т и более, но в отдельные сезоны промысловые скопления криля на акватории морей Содружества и Дейвиса были крайне неустойчивы, а широкомасштабный промысел был нерентабельным.

Значительные межгодовые флюктуации обилия криля и степени его агрегированности стимулировали исследования по выяснению их причин с целью

разработки методики прогноза его запаса и возможности рентабельного промысла с годичной и двухгодичной заблаговременностью.

Для решения этой задачи советские учёные получили уникальные данные мониторинга пелагической системы моря Содружества за период 1970–1990 гг. — одного из масштабных регионов обилия криля в Антарктике. В результате анализа мониторинга была изучена схема жизненного цикла *E. superba* и межгодовая динамика его биомассы (Асеев, 1978; 1983; Латогурский, 1979; 1990; Макаров 1975; 1980; Самышев, Асеев, 1979; Самышев, 1991). Были установлены прогностические связи между промыслово-биологическими параметрами и циркуляционным характером взаимодействия атмосферы и океана. Кроме того, огромную роль в этом процессе играет рельеф дна шельфовой зоны окраинных антарктических морей Дейвиса, Содружества, Космонавтов, Рисер-Ларсена, а также географическое расположение побережья Антарктиды относительно Южного полюса в Индоокеанском секторе Антарктики. В результате исследований был сделан вывод, что преобладание зонального типа атмосферной циркуляции в умеренных широтах Южного океана значительно повышает завихренность Прибрежного Антарктического течения (ПАТ), что способствует увеличению промысловых скоплений криля и их плотности над континентальным склоном. Напротив, преобладание меридионального типа атмосферной циркуляции значительно увеличивает вынос криля из прибрежной зоны в открытую часть океана, что приводит к уменьшению плотности, устойчивости его скоплений и снижает эффективность промысла (Самышев и др., 1987; Бибик, Яковлев, 1990; Бибик и др., 1991, 1995).

Наиболее крупномасштабный регион обилия криля располагается в Атлантическом секторе ЮО. Особенностью этого региона является географическая асимметричность побережья Антарктиды относительно Южного полюса по сравнению с Индоокеанским сектором (Земля Эндерби). Поэтому районы промысла криля здесь находятся на значительном удалении от основных зон его обитания и воспроизводства. По мнению В. В. Масленникова (Масленников, 2003) пополнение и увеличение запаса за счёт притока рачков

половозрелой части популяции из зоны воспроизводства напрямую связано с меридиональным типом атмосферной циркуляции, который усиливает меридиональные океанические течения. Формирование в данном регионе промысловых скоплений криля связано с аккумулярующим эффектом топографических вихрей, которые образуются в результате взаимодействия Южной ветви АЦТ с островами и различными формами рельефа дна.

В 2006 г. была разработана методика прогноза рентабельности крилевого промысла в АсА, основанная на гео- и гелиофизических предпосылках, благодаря возможности их многолетней экстраполяции и обнаруженным связям с гидрометеорологическими и промыслово-биологическими параметрами. В ней в качестве предикторов использованы средний годовой уровень солнечной активности, скорость вращения Земли и их производные. В качестве предикторов взяты средние за сезоны уловы криля на единицу усилия (т/час траления, CPUE) (Бибик, Брянцев, 2007) с годичной и двухгодичной заблаговременностью.

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЮГО-ЗАПАДНОЙ АТЛАНТИКИ И ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АТЛАНТИЧЕСКОГО СЕКТОРА АНТАРКТИКИ

Понимание биологических особенностей гидробионтов исследуемых акваторий невозможно без детальной привязки условий их существования к физической среде. Это актуально, принимая во внимание, в частности, своеобразие океанографических условий исследуемого региона, которое предполагает существование в его пределах биотопов относительно самостоятельных планктонных сообществ. В когорту таковых входит антарктический криль как один из массовых промысловых видов, позволяющих при организации крупномасштабного промысла существенно увеличить его вылов в интересах пищевых потребностей человечества.

Совокупность результатов исследований МО в период Международного географического года (МГГ), Международного геофизического сотрудничества (МГС) и Международного года спокойного солнца (МГСС) в 1957–1965 гг. позволили определить объективную основу для выделения южнополярной области МО в самостоятельный географический объект. Этой основой являются:

- а) самостоятельная система океанических течений с уникальным АЦТ;
- б) самостоятельная система водных масс на всех уровнях и их специфичность;
- в) характер взаимодействия водных масс с атмосферой и ледяным континентом, динамика ледяного покрова;
- г) самостоятельная система приливов.

Можно заключить, что выделение ЮО в границах Антарктической Конвергенции (АК) соответствует современным и прогнозируемым тенденциям развития хозяйственной деятельности и её политической организации – Комиссии по сохранению морских живых ресурсов Антарктики (CCAMLR, АНТКОМ) (Лифшиц, Студенецкая, 1987).

Рассматриваемый в диссертационной работе объект промысла — антарктический криль является пищевой нишей, благополучие которой напрямую

связано с огромным количеством физико-химических факторов. Поэтому для более полного понимания условий существования и процессов, влияющих на промысловое агрегирование криля, нами рассматриваются абиотические факторы: особенности рельефа дна, климата, погоды, основные океанографические условия, ледовый режим региона Юго-Западной Атлантики и прилегающего к нему района западной части Антарктики — АсА, АчА. С севера район ограничен параллелью 40° ю.ш., с юга — Антарктическим материком, с запада — берегом Южной Америки и меридианом 70° з.д., с востока — меридианом 30° з.д. Сюда входят несколько физико-географических регионов: Аргентинский бассейн, моря Скотия и Уэдделла, проливы Дрейка и Брансфилд, а также обширные акватории шельфов Антарктиды (море Уэдделла, шельфы Антарктического полуострова) (Рисунок 8).

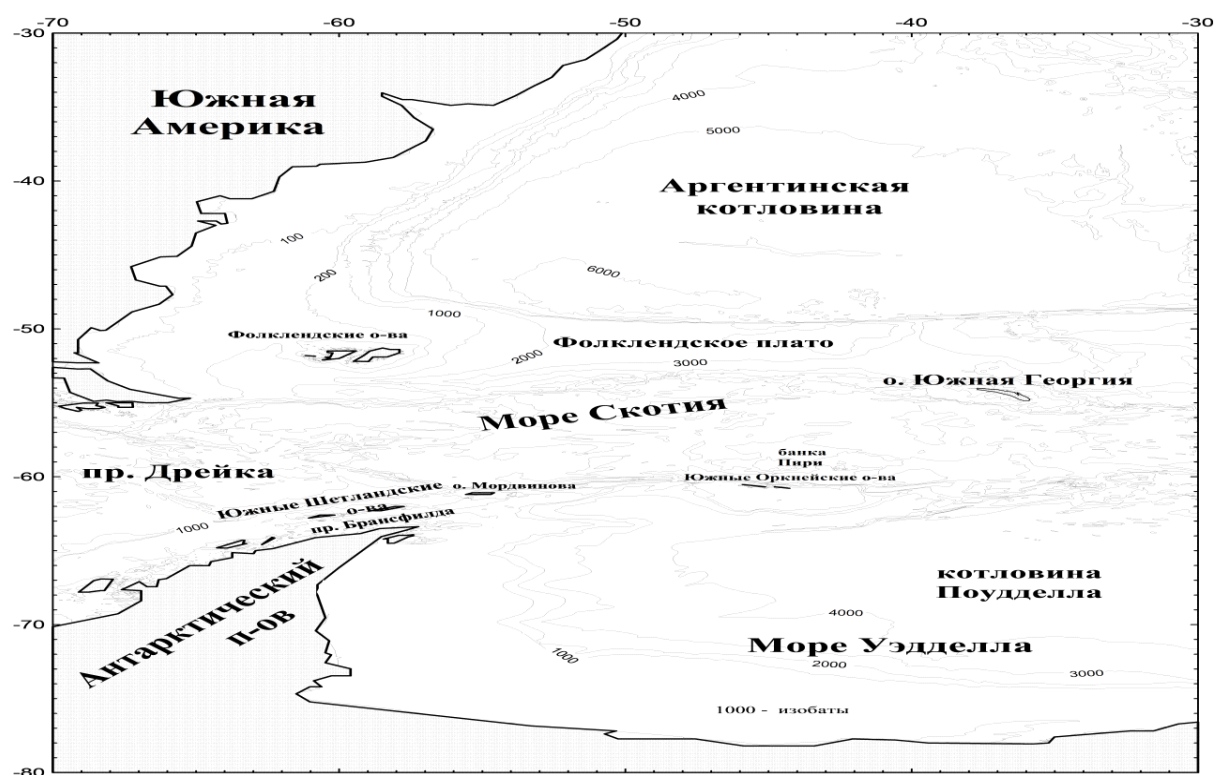


Рис. 8. Рельеф дна региона Юго-Западной Атлантики и Атлантического сектора Антарктики (Ломакин, Скрипалева, 2008)

2.1 Границы Южного океана и фронты

Главной особенностью ЮО является АЦТ, которое переносит воды вокруг Антарктиды с запада на восток между 40 и 60° ю.ш., распространяется до дна, формирует климат, режим вод, распределение флоры и фауны. Основная ветвь АЦТ, проходящая по 49–55° ю.ш., является главным фронтом ЮО и называется Южным полярным фронтом (ЮПФ) или АК, делящим ЮО на две обширные области — Субантарктику и Антарктику.

Субантарктика распространяется к северу от ЮПФ до субантарктического фронта (САФ), где в полосе 40–50° ю.ш. холодные субантарктические воды погружаются под тёплые субтропические воды. САФ является северной границей АЦТ и ЮО в целом. Однако зона САФ в течение года меняет своё положение в зависимости от сезона и характера атмосферной циркуляции, поэтому было признано целесообразным проведение северной границы ЮО по орографическому принципу — по южным точкам суши с максимальным приближением к зоне САФ.

Антарктика распространяется к югу от ЮПФ (53° ю.ш.) и включает в себя антарктические воды ЮО и материк Антарктиду. АЦТ на юге граничит с северными звеньями циклонических круговоротов и полностью затухает на их оси в пределах около 60° ю.ш., где прослеживается вторичный океанический фронт — Антарктическая дивергенция (АД, подъём вод). К югу от АД, на южных звеньях циклонических круговоротов, формируется Прибрежное антарктическое течение (ПАТ), направленное на запад. Оно не является строго круговым, а прерывается циклоническими циркуляциями. Для прибрежного района характерно наличие ещё одного вторичного фронта, который образуется при сходимости антарктических вод открытого океана и шельфовых антарктических вод с минимальной температурой поверхностного слоя (минус 1,9 °С).

Указанные океанические фронты — главный и вторичные, формируют гидрологический режим океана и являются естественными климатическими границами между зонами «умеренного климата», «открытых антарктических вод» и «дрейфующих льдов и айсбергов».

Южный океан также условно разделён на три естественных сектора: Атлантический (70° з.д. – 20° в.д.), Индийский (20–145° в.д.) и Тихоокеанский (145–70° з.д.).

2.2 Атлантический сектор Антарктики

Районы промысла антарктического криля в АсА расположены между морями Уэдделла и Скотия в пограничной зоне, получившей наименование «Зона слияния вод морей Уэдделла и Скотия» (ЗСУС). Промысловые скопления криля в Районе 48 (по районированию ФАО) в пределах этой акватории формируются на локальных участках в районах дуг Южных Шетландских (подрайон 48.1) и Южных Оркнейских островов (подрайон 48.2), а также у острова Южная Георгия (подрайон 48.3) (Ломакин, 2003; Ломакин, Самышев, 2004; Ломакин, Скрипалева, 2008). Рассмотрим рельеф дна, климатические, гидрологические особенности региона.

2.2.1 Рельеф дна

Одна из доминирующих форм рельефа дна моря Скотия, расположенного к югу от Аргентинского бассейна, представлена хребтом Скотия, соединяющим острова Огненная Земля с Антарктическим полуостровом и простирающимся на восток вдоль южной и восточной границ моря.

Вдоль хребта, от пролива Дрейка, в восточном направлении расположены цепи островов: Южные Шетландские, Южные Оркнейские, Южные Сандвичевы и Южная Георгия. Поднятие (банка) Пири, находящееся между островами Южная Георгия и Оркнейскими, разделяет море Скотия на две котловины — восточную и западную. У изогнутого восточного склона хребта Скотия расположен Южно-Сандвичев желоб с наибольшей глубиной в пределах Антарктики (8270 м).

Море Уэдделла, простирающееся к югу от моря Скотия — одно из окраинных морей Антарктиды. С запада оно ограничено Антарктическим полуостровом, с востока — материком. С Тихим океаном море соединено проливом Брансфилд, который расположен между Южными Шетландскими островами и северным побережьем Антарктического полуострова. Южная часть моря Уэдделла покрыта

шельфовым ледником Фильхнера площадью 260 тыс. км² и толщиной 230–490 м. Море Уэдделла представляет собой очень глубокий залив (4500–4700 м, за исключением прибрежной части), средняя глубина северной части моря 4880 м; максимальная глубина 8268 м — в Южно-Сандвичевом желобе. Относительное мелководье обнаружено между группой Южных Сандвичевых о-вов и Южными Оркнейскими о-вами. Вблизи Земли Котса глубины составляют 243–294 м. Дно котловины моря занимает обширнейшая (ширина 300 км) абиссальная равнина Уэдделла (Океанографическая Энциклопедия, 1974).

2.2.2 Климатические особенности региона

Формирование климата АсА обусловлено географическим положением региона, влиянием холодного высокогорного континента Антарктиды, отсутствием тёплых меридиональных течений, динамикой морских льдов и атмосферной циркуляцией.

Атмосферная циркуляция. Главная особенность атмосферной циркуляции над акваторией ЮЗА, как и в целом над водами ЮО — это активная циклоническая деятельность в течение всего года: в летний сезон Южного полушария (ЮП) (январь) циклоническая деятельность превалирует преимущественно в антарктической зоне — к югу от 45–50° ю.ш., а зимой (июль) распространяется по всему океану — от 35° ю.ш. до побережья Антарктиды. Большинство циклонов перемещается зонально, но имеет тенденцию смещения с южной составляющей. Это связано с развитием и локализацией гребней высокого давления субтропического и антарктического барических максимумов. Циклоны, встречая на пути такие гребни, начинают смещаться по меридиональным траекториям к побережью Антарктиды, где и заполняются. Такие циклоны называют «ныряющими». При заполнении этих циклонов у антарктического побережья образуется противоположное движение воздушных масс с востока на запад.

Западная часть АсА отличается характером циклогенеза от такового в Индийском и Тихоокеанском секторах ЮО. Повторяемость прохождения циклонов здесь ниже, чем в других секторах океана. В январе (летом)

среднемесячное количество циклонов над морем Скотия и ЗСУС колеблется от 3 до 7. В июле (зимой) эта зона циклогенеза смещается на юго-запад почти вплотную к Антарктическому полуострову, охватывая западную часть моря Уэдделла и Южные Шетландские острова, а среднее количество циклонов снижается до 3–5.

Из областей максимальной повторяемости циклонов в месяц незначительно выделяется район моря Скотия — от 6–10 (Романов, 1984), тогда как в других регионах ЮО максимальное количество циклонов достигает 9–14. Следует отметить важную особенность: область максимальной повторяемости циклонов над морем Скотия, в отличие от других регионов, сохраняется в течение всего года. Этому способствуют атмосферная циркуляция и океанические течения, благоприятные для круглогодичного пополнения популяции криля в регионе ЗСУС из моря Беллинсгаузена и из моря Уэдделла.

Антициклонический характер атмосферной циркуляции в регионе начинает прослеживаться только к северу от 45–50° ю.ш. в виде холодных гребней высокого давления и тёплых блокирующих систем. Холодные системы обычно продвигаются на север — к экватору, а при смещении к югу замедляются и превращаются в блокирующие системы, вдоль которых циклоны и «ныряют» к берегам Антарктиды.

Барическое поле. Для ЮЗА и АсА характерно хорошо выраженное зональное распределение атмосферного давления. Барическое поле и атмосферные процессы этого региона определяются наличием трёх крупномасштабных климатических образований. Это два антициклонических центра — субтропический Южно-Атлантический максимум атмосферного давления в полосе 30–35° ю.ш. и Антарктический максимум давления над материком. Между ними в полосе 65–75° ю.ш. над морем Уэдделла располагается Антарктическая барическая депрессия, которая прослеживается в течение всего года, но представляет собой совокупность отдельных климатических депрессий (Абрамов и др., 1986) (Рисунок 9). Следует отметить, что их основное нахождение приурочено к поверхностям над морями Росса и Рисер-Ларсена и Космонавтов в Тихоокеанском

и Индийском секторах Антарктики, соответственно.

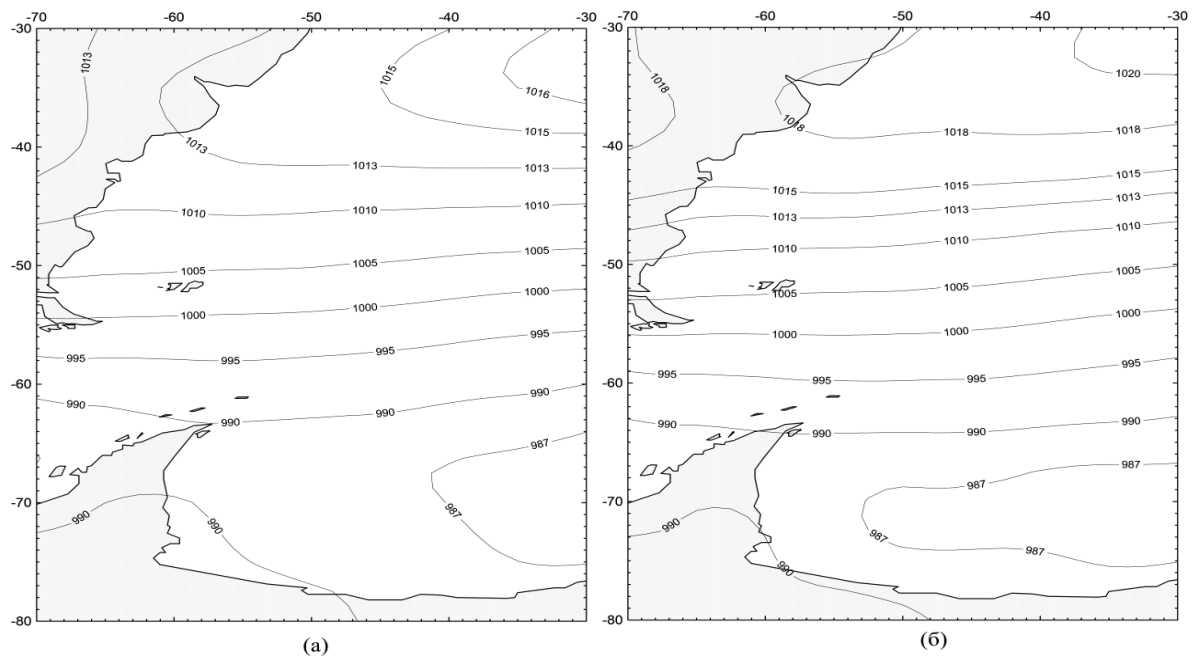


Рис. 9. Распределение атмосферного давления (мб) у поверхности океана для марта (а) и сентября (б) (Ломакин, Скрипалева, 2008)

В годовом ходе средних значений атмосферного давления над исследуемым регионом промысла антарктического криля имеются свои характерные черты. В зимний период (июль) Южно-Атлантический и Антарктический максимумы усиливаются за счёт интенсивного выхолаживания воздуха, поэтому атмосферное давление над морем Скотия и ЗСУС возрастает. В летний сезон (январь) указанные барические максимумы ослабевают, причём Южно-Атлантический антициклон значительно смещается к югу, и средние значения давления снижаются. Над морем Уэдделла, как почти и для всего антарктического побережья, минимум давления приходится на переходные сезоны (март, сентябрь), а максимум – на основные сезоны (январь, июль) (Рисунок 9).

Таким образом, осредненное барическое поле над Антарктикой характеризуется чисто зональной структурой; её основным элементом является циркумполярная субантарктическая ложбина, осевая линия которой в Восточной Антарктике располагается около 65° ю.ш., а в Западной Антарктике — около

70° ю.ш. Зона 40–60° ю.ш. представлена полем параллельных изобар, характеризующих устойчивый западный перенос (Луценко, Федосов, 1990).

Ветер. Поле ветра над морем Скотия и Уэдделла формируется в соответствии со структурой барического поля региона. Здесь выделяются два основных ветровых пояса. Над ЗСУС — районы Южных Шетландских, Южных Оркнейских островов, а также острова Южная Георгия в течение всего года наблюдаются устойчивые западные ветры. Этот ветровой пояс распределяется до зоны АД, проходящей над морем Уэдделла в поясе 65–75° ю.ш. Второй ветровой пояс располагается над морем Уэдделла к югу от оси Антарктической барической депрессии от 70° ю.ш. до побережья Антарктиды. Здесь преобладают восточные ветры. Исключение составляет западная часть моря Уэдделла, где вдоль восточного берега Антарктического полуострова наблюдаются южные и юго-западные ветры.

Поле скорости ветра характеризуется поясом максимальных значений в умеренных широтах над морем Скотия и убыванием скорости к югу. Летом (январь) максимальные скорости ветра наблюдаются в поясе 50–55° ю.ш. и интенсивно уменьшаются с удалением к югу над морем Уэдделла. Зимой (июль) максимальная скорость ветра смещается к северу до 45–50° ю.ш., за пределы моря Скотия. Над морем Уэдделла изменения скорости ветра от января к июлю очень незначительны, за исключением узкого побережья Антарктиды.

В регионе АсА средние значения скорости ветра являются наименьшими по ЮО в целом. Исключение составляют периоды зарождения и прохождения на восток глубоких циклонов со скоростью до 30–35 узлов и усилением ветра до 30 м/с и более в холодный период года.

Температура воздуха у поверхности океана. Распределение средней температуры воздуха в приводном слое АсА также в целом зонально. В связи с асимметричностью положения материка Антарктиды относительно полюса средняя температура воздуха в АсА на одной широте на 3–5° ниже, чем в Тихоокеанском секторе.

В середине лета (январь) температура воздуха над морем Уэдделла у

побережья материка составляет минус 6–8 °С, повышаясь в зоне слияния с морем Скотия до 1–3 °С, а над морем Скотия — до 4–8 °С. В зимний сезон (июль) широтные контрасты температуры воздуха значительно выше. В самой прибрежной зоне моря Уэдделла средняя температура воздуха понижается до минус 30 °С. Над его центральной частью акватории резко повышается до минус 6–8°, над ЗСУС составляет около минус 2°, а над центральной частью акватории моря Скотия, включая район острова Южная Георгия, достигает даже положительных значений, до 1 °С (Рисунок 10).

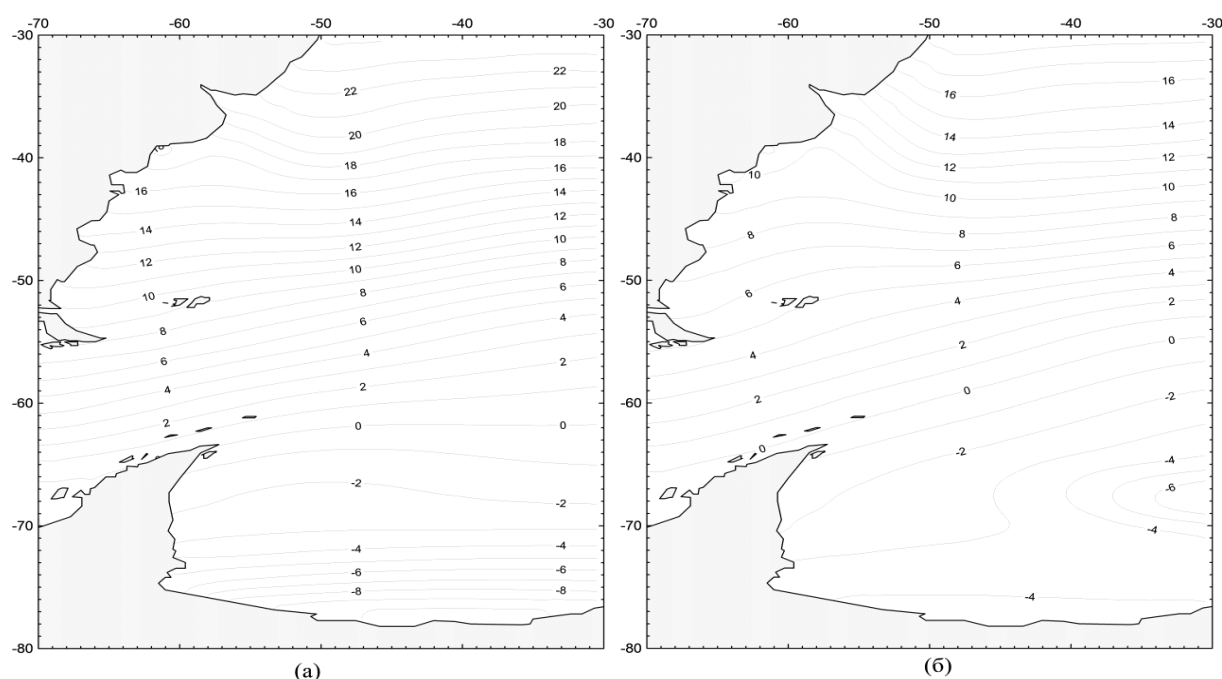


Рис. 8. Температура воздуха (°С) в приводном слое в марте (а) и сентябре (б)

Наиболее тёплый месяц у побережья Антарктиды — январь, в ЗСУС, т. е. в районе Ю. Шетландских и Ю. Оркнейских островов — февраль–март. Зимой наиболее низкие средние температуры воздуха над зоной слияния морей отмечаются в июле, реже в августе–сентябре, а над узкой прибрежной зоной Антарктиды в море Уэдделла — в августе.

Важно отметить, что при наличии дрейфующих льдов температура воздуха резко понижается. Так, на северо-западе моря Уэдделла, в районе Ю. Шетландских островов, абсолютный минимум температуры воздуха в приводном слое может достигать минус 40 °С, а у побережья Антарктиды — минус 50 °С

(Океанографическая Энциклопедия, 1974).

Влажность воздуха. Для исследуемого региона характерна высокая относительная влажность воздуха в течение всего года. Летом акватория моря Скотия и ЗСУС свободна ото льда, влажность воздуха увеличивается до 85–87 %, так как здесь стационарируют циклоны — основные поставщики влаги. С удалением в центральную часть моря Уэдделла и приближением к Антарктиде влажность воздуха снижается. На режим увлажнения здесь оказывает влияние сохраняющийся даже летом дрейфующий лёд. Зимой относительная влажность воздуха уменьшается до 77 %, что объясняется образованием ледяного покрова.

Облачность. Пояс максимального количества общей влажности до 8–9 баллов также располагается над ЗСУС и совпадает с зоной наибольшей повторяемости циклонов, которые играют решающую роль в процессе формирования облаков. Очаг максимальной повторяемости облаков занимает пространство над районом Ю. Оркнейских островов. Пасмурная погода в течение всего года обусловлена не только облачностью, но и большой повторяемостью туманов. Повторяемость пасмурного неба (облачность 8–10 баллов) в зоне Антарктической депрессии над морем Уэдделла в течение всего года превышает 80 %, достигая в тёплое полугодие 92 %.

Осадки. Максимальное количество осадков в основном очаге — над морем Скотия, включая зону Ю. Оркнейских островов и острова Ю. Георгия, превышает 1000 мм. Причём в зимний сезон осадков выпадает больше, чем в летний, за счёт активизации циклонической деятельности в холодное полугодие. При этом зимой очаг максимального количества осадков смещается к западу, в зону Ю. Шетландских островов и к восточным склонам Антарктического полуострова. Вероятность осадков в летний период составляет около 30 %, в зимний сезон увеличивается до 35 %, от общего числа метеонаблюдений.

Климатическое районирование. Климатические зоны в целом по ЮО выделяются достаточно чётко. Исключение составляет регион промысла антарктического криля — западная часть АсА, где главную роль в климатическом районировании играет асимметричность Антарктиды относительно полюса.

1. «Зона дрейфующих льдов и айсбергов» располагается от побережья Антарктиды до южной границы моря Скотия, включая в себя ЗСУС — Ю. Шетландские и Ю. Оркнейские острова, от 62° ю.ш. на западе до 58° ю.ш. на востоке моря Скотия. В течение всего года эта зона находится под влиянием активной циклонической деятельности, с большой повторяемостью низких облаков и туманов, с частыми осадками общей суммой до 1000 мм в год.

2. «Зона открытых антарктических вод» охватывает практически всю акваторию моря Скотия, штормовые 50-е широты Южного океана. Её северной границей является Центральная ветвь Антарктического Циркумполярного течения (АЦТ). В течение всего года акватория этой зоны свободна от льда.

3. «Зона умеренного климата» распространяется к северу от моря Скотия и расположена за пределами региона промысла антарктического криля.

2.2.3 Гидрологические особенности региона

Температура поверхностного слоя воды. Распределение температуры воды на поверхности океана (ТПО) зависит в целом от теплового баланса, а также определяется адвекцией тепла течениями и влиянием ледяного покрова. В АсА — в море Скотия и ЗСУС — в районах Ю. Шетландских и Ю. Оркнейских островов, распределение ТПО носит почти зональный характер. В летний сезон (январь–март) ТПО в зоне островов повышается до положительных значений 0,5–1,0 °С, плавно увеличиваясь на севере моря Скотия до 4–5 °С. В зимний период (июль–сентябрь) ТПО в зоне островов понижается до отрицательных значений минус 1,0–1,8 °С, а в северной части моря Скотия не превышает 1–3 °С. В море Уэдделла зональность в поле ТПО резко нарушается, что объясняется циркуляцией вод в циклоническом круговороте моря. Летом (январь–март) здесь в зоне дрейфующих льдов в результате их изолирующего влияния на приток солнечной радиации и потерь тепла на таяние льда температура воды остается отрицательной и составляет минус 0,54–1,9 °С. В зимний период (июль–сентябрь) ТПО в море Уэдделла составляет минус 1,5–1,9 °С.

Соленость поверхностного слоя воды. На распределение солености воды на поверхности океана оказывают существенное влияние преобладание осадков над испарением, а также процессы льдообразования и льдотаяния. В морях Скотия и Уэдделла распределение солености воды носит не зональный характер и проявляется в чередовании участков повышенной и пониженной солености. В летний сезон солёность поверхностного слоя воды в морях Скотия и Уэдделла, а также в ЗСУС — районах Ю. Шетландских и Ю. Оркнейских островов, понижается за счёт таяния льдов до 33,8–34,00 ‰. В зимний период солёность воды в море Скотия повышается до 33,9–34,1 ‰, а в море Уэдделла наблюдается значительное осолонение воды (34,5 ‰) (Океанографическая Энциклопедия, 1974).

Водные массы. В АсА вся толща вод разделяется на четыре типа водных масс, два из которых являются модификациями поверхностной воды.

1. Антарктическая поверхностная водная масса (АПВ). Охватывает слой от поверхности до глубин 200–300 м. В прибрежной зоне эта вода залегает до глубины 150 м. Наименьшей глубины она достигает в районе АД и в центрах циклонических круговоротов вод. Температура АПВ колеблется от минус 1,5 до плюс 3 °С, солёность 33,00–34,70 ‰.

Характерным свойством АПВ является её разделение на два слоя — слой летнего прогрева и зимний остаточный слой. Зимой в поясе интенсивного льдообразования происходит перемешивание воды, что по вертикали приводит к гомотермии. Весной–летом в результате таяния льда и прогрева формируется верхний слой толщиной до 50 м с пониженной солёностью (33,8–34,0 ‰), где температура воды повышается до 1–3 °С на поверхности. Подстилающий его остаточный слой зимней воды сохраняет свои зимние характеристики с минимальной температурой в ядре от минус 0,7 до минус 1,3 °С. Солёность воды в этом слое относительно высока (34,1–34,4 ‰). Всё это приводит к формированию сезонного пикноклина. С наступлением осени–зимы в высоких широтах, в поясе интенсивного льдообразования, вновь формируется прежняя вертикальная структура АПВ с гомотермией и гомохалинностью.

2. Шельфовая антарктическая поверхностная водная масса (ШАПВ). Шельфовые воды располагаются в основном в пределах материковой отмели, куда не проникает относительно тёплая Глубинная водная масса. Максимальная глубина залегания шельфовой воды отмечается в начале материкового склона и составляет около 500 м, в некоторых местах – до 800 м. Она характеризуется крайне низкими температурами от минус 1,00–1,95 °С и солёностью в пределах 33,20–34,50 ‰ до 34,70 ‰.

3. Антарктическая глубинная водная масса (АГВ). Верхняя граница этой воды в Антарктике совпадает в целом с нижней границей АПВ и выделяется по кислородному минимуму и максимуму температуры (3 °С). Минимальная глубина залегания верхней границы АГВ наблюдается в области АД на 200–250 м. На некоторых участках антарктического шельфа происходит опускание верхней границы этой воды до глубин 500 м. Характерными параметрами глубинной воды являются средние значения температуры 1,0–1,9 °С и солёности — 34,61–34,68 ‰. Экстремальные значения характеристик данной водной массы заметно различаются в зависимости от местоположения. Так, температура воды в АСА понижается до минус 0,2 °С, солёность — от 34,24 до 34,80 ‰.

Нижняя граница АГВ совпадает с верхней границей придонных вод и залегает в широтном поясе 50–60° ю.ш. на глубинах 3000–3500 м, а затем её глубина резко уменьшается до 1500–200 м в прибрежных районах материкового склона Антарктиды. Для нижней границы вод характерен глубинный максимум солёности.

4. Антарктическая донная водная масса (АДВ). Характеризуется значениями температуры от минус 0,2 до 1,0 °С и солёности — от 34,69 до 37,75 ‰, обнаруживается между АГВ и дном океана. Одним из главных районов формирования АДВ является море Уэдделла. В юго-западной части моря сползающие по материковому склону холодные шельфовые воды смешиваются с тёплыми глубинными водами, образуя придонные воды. Этот процесс происходит в течение круглого года.

5. Субантарктическая поверхностная водная масса (САПВ) располагается

севернее САФ и южнее СТФ, Антарктическая полярная поверхностная водная масса (АППВ) — севернее АПФ и южнее САФ, Антарктическая поверхностная водная масса (АПВ) — южнее АПФ до побережья Антарктиды. По Артамонову и др., (1998) диапазон изменчивости температуры и солености у водных масс следующий: САПВ — 7,8–20,3 °С и 33,55–34,55 ‰, АППВ — 3,5–3,0 °С и 33,82–34,12 ‰, АПВ — минус 0 плюс 4,5 °С и 33,00–33,92 ‰, соответственно.

Система течений. К настоящему времени сложились вполне устойчивые представления о крупномасштабной циркуляции вод акватории Юго-Восточной Атлантики и АЧА (Чернявский, 1977; Булгаков и др., 1997; Артамонов, Ломакин, 2002; Булгаков и др., 2003; Ломакин, Скрипалева, 2008; Whitworth et al., 1982; Peterson, Stramma, 1991; Orsi et al., 1993). Основными элементами циркуляции ЮО является АЦТ и обширная система стационарных циклонических круговоротов в антарктических широтах (см. раздел 2.1).

АЦТ в Юго-Западной Атлантике и в западной части АсА характеризуется отчётливо выраженной азональностью. Выходя из пролива Дрейка в Атлантику, АЦТ разделяется на три струи или ветви: Северную, Центральную и Южную — ширина каждой около 100 км (Peterson, Stramma, 1991) с относительно высокими скоростями. Северная ветвь представляет собой, так называемое, Течение мыса Горн. В центре располагается Центральная струя собственно АЦТ, а Южная ветвь представляет течение из моря Беллинсгаузена.

На промысел антарктического криля в рассматриваемом районе оказывают влияние Центральная и Южная ветви АЦТ (Рисунок 11).

Так, Центральная ветвь, войдя в море Скотия, разделяется на две струи, причём северная струя поворачивает на северо-восток и выходит из моря Скотия через глубоководный проход в Южно-Антийском хребте. Южная ветвь АЦТ, войдя в море Скотия из моря Беллинсгаузена, омывает дуги Ю. Шетландских и Ю. Оркнейских островов, затем проходит через восточную часть моря и покидает его через пролив между островом Южная Георгия и Ю. Сандвичевыми островами.

Средняя скорость этого потока в верхнем 100-метровом слое составляет

20 см/с. Реальные скорости потока Южной ветви АЦТ на поверхности океана изменяются от 30 до 150 см с⁻¹, в то время как его геострофическая составляющая (относительно отсчетной поверхности 1000 м) не превышает 10–20 см с⁻¹ (Булгаков и др., 2003).

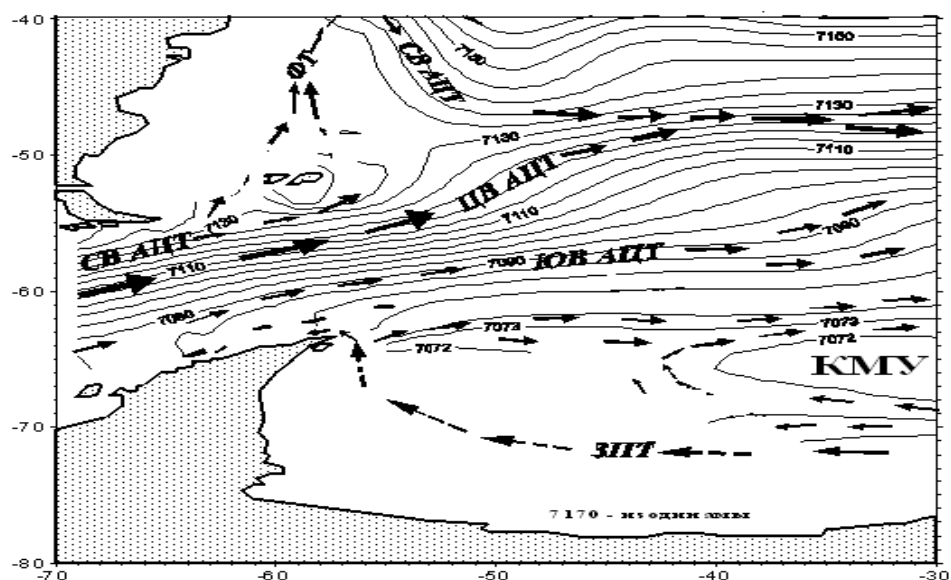


Рис. 11. Крупномасштабные геострофические течения Юго-Западной Атлантики и Атлантического сектора Антарктики (Ломакин, Скрипалева, 2008)

Условные обозначения: ФТ — Фолклендское течение, СВ АЦТ — Северная ветвь АЦТ, ЦВ АЦТ — Центральная ветвь АЦТ, ЮВ АЦТ — Южная ветвь АЦТ, ЗПТ — Западное прибрежное течение, КМУ — Круговорот моря Уэдделла

Южная ветвь АЦТ представляет собой сильно меандрирующий поток, разделяющий относительно тёплые малосолёные вихревые образования моря Скотия и холодные высокосолёные вихревые образования моря Уэдделла, формируя в этой зоне особые локальные гидрологические условия для высокой концентрации антарктического криля.

Западное прибрежное течение. Около берегов Антарктиды наблюдается слабое течение западного направления, которое называют Антарктическим прибрежным течением — АПТ (Ломакин, 2003). Оно имеет небольшую геострофическую скорость, не превышающую 1–2 см/с на поверхности океана. Течение более интенсивно в весенне-летний период, а зимой геострофическая скорость практически близка к нулю.

2.2.4 Фронты

В АсА, как и целом в ЮО, выделяются три главных циркумполярных фронта: с севера на юг — субтропический фронт (СТФ) или субтропическая конвергенция; субантарктический фронт (САФ); антарктический полярный фронт (АПФ) или антарктическая конвергенция (Белкин, 1993; Булгаков и др., 1999; Гурецкий, 1987). Дополнительно — фронт между водами морей Уэдделла и Скоша. Ширина фронтов составляет 150–250 км. Главные фронты являются естественными границами между различными типами поверхностных водных масс.

В западной части АсА между 50–58° ю.ш. расположен САФ, а между 54–62° ю.ш. — АПФ (Рисунок 12).

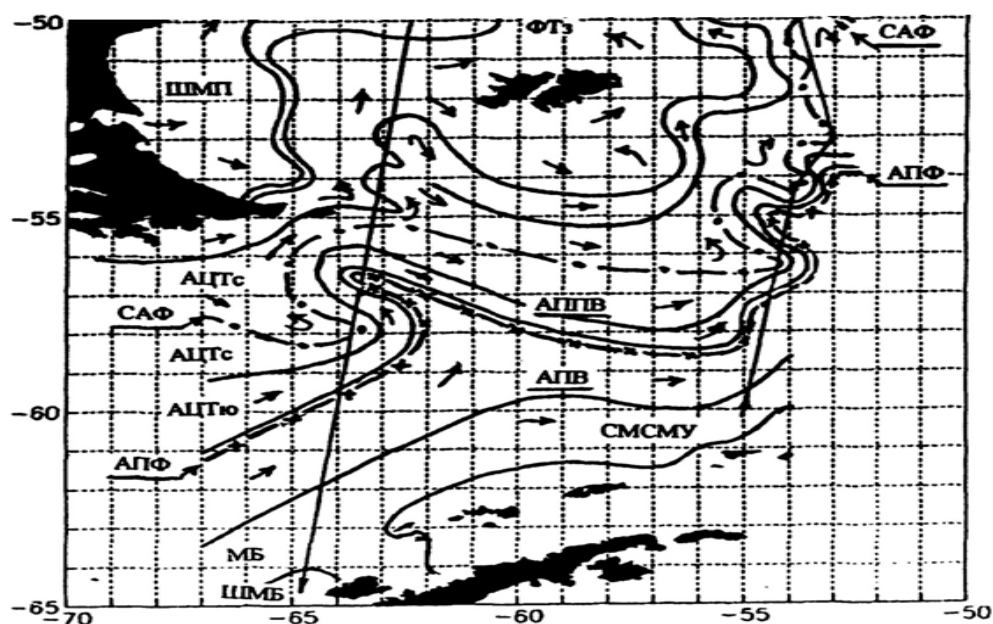


Рис. 12. Течения, фронты, водные массы западной части АЧА (Украинский и др., 2000)

Условные обозначения:

Водные массы: АПВ — Антарктическая поверхностная; ШМБ — шельфовая моря Беллинсгаузена; МБ — моря Беллинсгаузена; СМСМУ — слияния моря Скотия и моря Беллинсгаузена; АППВ — Антарктическая полярная поверхностная; АЦТю — Антарктическая Циркумполярного течения, южная; АЦТс — Антарктическая Циркумполярного течения, северная; ШМП — Шельфовая Магелланова пролива; ФТз — Фолклендского течения западная.

Фронты: АПФ — Антарктический Полярный фронт; САФ — Субантарктический фронт

Ширина АПФ в среднем для АЧА в 1,3 раза меньше ширины САФ и

составляет около 110 км. Перепад температур в зоне САФ 3,6–12,6 °С, в зоне АПФ — 0,8–6,8 °С (Гурецкий, 1987). Характерной (общей для всех фронтов) чертой является их заметное обострение в западной части, связанное с западной интенсификацией циркуляции и сходимостью разнонаправленных крупномасштабных течений. Фронтальные зоны не перекрывают друг друга. Ширина разделяющих фронтальные зоны слабо градиентных зон составляет между САФ и АПФ от 180 до 570 км (Гурецкий, 1987).

В АсА имеет место близкое совпадение струй АЦТ и фронтов: САФ совпадает с северным стрежнем, южный стрежень смещен относительно поверхностного положения АПФ примерно на 1,5 °С широты к северу (но совпадает с подповерхностным положением АПФ).

2.2.5 Ледовые условия

Главная особенность западной части АсА — асимметричность положения Антарктиды относительно полюса. Второй особенностью является конфигурация береговой черты одного из самых холодных морей на планете, почти полностью расположенного южнее Полярного круга — моря Уэдделла, южная часть которого большую часть времени года покрыта ледяным покровом. Здесь находится шельфовый ледник Фильхнера — основной очаг генерации айсбергов в Антарктике.

В море Уэдделла расположена также одна из самых мощных систем дрейфующего льда, осуществляемая крупномасштабной системой течений западной части моря. Вдоль берега Антарктиды ледовые поля переносятся Западным прибрежным течением к восточному шельфу Антарктического полуострова. Далее на север течением западной периферии Круговорота моря Уэдделла они транспортируются к струям Южной и Центральной ветвей АЦТ и выносятся в открытые воды в северо-восточном направлении. В этом районе наблюдается максимально интенсивный дрейф ледовых полей (средняя скорость 15–20 см/с) (Ackley, 1981).

Таяние льда в шельфовой зоне и у берега Антарктического континента

происходит только в феврале–марте. При этом отдельные участки побережья полностью освобождаются от припая и плавучего льда (Романова, 1976; Булгаков, 2003; Джиганшин, 2003; Murphy et al., 1995).

Льдообразование в море Уэдделла начинается осенью (март). При нарастании морского льда до толщины 20–40 см, у берега Антарктиды устанавливается припай. Поскольку дрейфующие льды здесь находятся вблизи побережья, то промежуток времени между началом устойчивого льдообразования и становлением припая составляет несколько суток. В прибрежных районах, где дрейфующие льды отсутствуют, этот промежуток времени достигает одного месяца. Формирование припая заканчивается в апреле–мае, затем происходит только увеличение его толщины и ширины. В период максимального развития ледяного покрова (сентябрь–октябрь) толщина припая может достигать 1–2 м, а ширина — 50–90 км. Весенне-летнее разрушение припая начинается в декабре и распространяется от ледовой кромки к берегу. Пятая часть припая в море Уэдделла сохраняется к началу нового цикла льдообразования, что определяет формирование здесь у побережья многолетнего припая — паковых льдов.

К северу от припая располагаются дрейфующие льды, составляющие в море Уэдделла главную часть ледяного покрова. Закономерности дрейфа морских льдов определяются циркуляцией атмосферы и океанических вод. В море Уэдделла располагается одна из самых мощных циклонических систем дрейфа льда в ЮО. На южной периферии этой системы ледовые поля переносятся вдоль берегов Антарктиды к восточным склонам Антарктического полуострова Западным прибрежным течением. Отсюда льды выносятся мощным течением западной периферии Круговорота моря Уэдделла на север к Ю. Шетландским островам, где попадают в поток Южной и Центральной ветви АЦТ. Эти ветви разворачивают дрейф льдов на восток вдоль ЗСУС с наибольшей средней скоростью 15–20 см/с. Таким образом, вдоль берега Антарктиды наблюдается генеральный западный дрейф льдов. Вынос льда от берегов Антарктического полуострова происходит в северном и северо-восточном направлениях. В прикромочной зоне вдоль 60° ю.ш. льды дрейфуют уже в генеральном восточном

направлении. В море Уэдделла располагается один из трёх наибольших ледяных массивов Антарктики, который носит название Атлантический. В декабре–марте в этом массиве сосредоточено около 75 % сплоченных льдов региона.

Одна из главных особенностей ледового режима моря Уэдделла — появление большого распределение айсбергов, которые образуются в результате облома внешнего края шельфового ледника Фильхнера, облома краёв выводных ледников и ледниковых куполов Антарктиды при движении края материкового льда в сторону океана и воздействии на него приливных и барических волн, волн зыби и цунами. Дрейф айсбергов происходит под воздействием течений и ветра. В генеральной схеме их дрейфа выделяются три самостоятельные области — прибрежная зона, зона преобладающего выноса и зона АЦТ. В прибрежной зоне айсберги под воздействием Западного прибрежного течения и юго-восточных ветров двигаются на запад к Антарктическому полуострову. Здесь они попадают в Западно-Атлантическую зону преобладающего выноса (50–66° з.д.) и перемещаются на север до Ю. Шетландских островов в зону действия АЦТ, где их дрейф разворачивается в генеральном восточном направлении. Средняя скорость дрейфа изменяется от 5 до 30 км в сутки. Средняя длина айсбергов около 500 м, высота 50 м. Длина отдельных айсбергов достигает 5–10 км и более. Различают три вида айсбергов — столовые, пирамидальные и наклонные. По мере таяния и разрушения волнами столовые айсберги становятся пирамидальными, а после переворачивания — наклонными. Нижние остатки айсбергов называют «щенками», они имеют тёмно-зелёный бутылочный цвет и представляют большую опасность для судоходства во время выполнения промысловых работ. Средняя продолжительность существования айсбергов составляет 6 лет, но может достигать 12–13 лет.

Климатические исследования (Позднев и др., 1991; Артамонов и др., 2000; 2000а; Еремеев, 2013) ледового режима Антарктики за период 1969–2010 гг. выявили особенности ледового режима в западной части АсА (0–50° з.д.) — в районах промысла криля. В течение последних 10–15 лет ледовая кромка в зоне Ю. Шетландских и Ю. Оркнейских островов в тёплые месяцы смещалась

относительно своего климатического положения к северу и югу со среднегодовым отклонением до 5–10 широтных градусов. С 2007 г. кромка дрейфующих льдов здесь устойчиво удерживается в крайнем северном положении 58–60° ю.ш., что значительно усложняет ведение промысла антарктического криля.

Климатические особенности континента Антарктида имеет свою историю, в которой в конце среднего эоцена, что около 40 млн лет, господствовал влажный и умеренный климат, сопоставимый с современным в лесах Южной Америки (Scientific Reports, 2020).

Подтверждена гипотеза о частоте появления полыньи моря Уэдделла раз в 2–3 года. Максимальное развитие полыньи связано с наложением на тепловую волну 2–3-х лет квазипериодического колебания барического происхождения с периодом около 5–7 лет термического генезиса (Чепурина, 1995).

Антарктические полыньи ЮО имеют научное и прикладное значение как в процессах обмена энергии между океаном и атмосферой, так и в формировании биологической продуктивности вод, где возможен промысловый лов криля.

Выводы. Указанные особенности атмосферной циркуляции, рельефа дна, сложнейшей системы океанических течений, вертикальной циркуляции и свойств водных масс, условий развития ледового режима, других физических характеристик формируют высокую биологическую продуктивность вод исследуемого региона. Эти особенности оказывают непосредственное влияние на существование и развитие основы пищевой пирамиды – запасов антарктического криля в качестве пищевой базы для многочисленных представителей животного мира, являющихся его потребителями.

Характерные черты системы существующих течений позволяют выделить, на наш взгляд, два основных потенциально продуктивных региона промысла криля.

1. Северо-западный шельф и склоны Антарктического полуострова (Пролив Брансфилд). Нерест криля происходит на шельфах полуострова, откуда локальными прибрежными течениями выносятся в открытые воды к южной ветви АЦТ, которая реализует дальнейший генеральный транспорт криля на восток. В западной части пролива Брансфилд, между полуостровом и Южными

Шетландскими островами, в тёплое время года существует квазистационарный циклонический вихрь топографического происхождения (перепады глубин от 200 до 1000 м). Формирование этого вихря обусловлено потоком Западного прибрежного течения моря Уэдделла над отрицательными формами рельефа дна. Этот вихрь способствует пополнению крилем участков Южных Шетландских островов из моря Уэдделла и обуславливает вынос молоди криля в открытые воды. Кроме того, течение западной периферии циклонического Круговорота моря Уэдделла несёт шельфовые антарктические воды к южным границам моря Скотия, где у дуг Южных Шетландских и Южных Оркнейских островов формируется высокопродуктивная область ЗСУС.

2. Южная ветвь Антарктического Циркумполярного течения (ЮВ АЦТ). Эта ветвь АЦТ выносит распреснённые воды моря Беллинсгаузена через пролив Дрейка вдоль западного склона и внешнего шельфа Антарктического полуострова в район Южных Шетландских и Южных Оркнейских островов. Этот меандрирующий поток южной ветви АЦТ разделяет относительно теплые малосолёные воды моря Скотия и холодные высокосолёные воды моря Уэдделла, являясь основной артерией глобального восточного транспорта криля.

В середине моря Скотия к северу от Южных Оркнейских островов ЮВ АЦТ раздваивается, образуя квазистационарный антициклонический меандр. На этом участке в ста милях к северу от гряды островов расположено подводное поднятие Пири с глубиной 1000 м при общем фоне глубин около 4000 м. Вследствие топографического эффекта потока ЮВ АЦТ над вершиной этого поднятия разделяется на две ветви, направленные на северо-восток и юго-восток. Более мощная северо-восточная ветвь и формирует вышеуказанный антициклонический меандр. Именно в этом регионе Южных Оркнейских островов расположен один из наиболее продуктивных районов промысла криля.

Следует добавить, что часть вод более мощной северо-восточной ветви следует на северо-восток, транспортируя скопление криля в район острова Южная Георгия.

2.2.6 Влияние гидрометеорологических условий на распределение и динамику численности антарктического криля

Исследования биологии и распределения криля показали, что определяющее значение в формировании продуктивности криля, его скоплений в акватории за кромкой льда играют ледовитость и гидрометеороусловия района, а именно: температура воздуха, атмосферное давление, направление ветра, направление течений, подъем глубинных вод и т. п. (Антарктический криль, 2001)

Все эуфаузииды, в том числе и криль, являются преимущественно стайными организмами, которые образуют скопления в основном пассивно, под воздействием концентрирующих факторов – ветровых поверхностных течений и вихрей. В соответствии с многочисленными наблюдениями, наиболее благоприятные условия для образования скоплений криля складываются, как правило, в системе локальных круговоротов и меандров различного знака, в «теневых» зонах островов, в том числе в местах концентрации фитопланктона. (Макаров, 1972; Макаров и др., 1980; Масленников, 1980)

По мнению ряда авторов (Масленников, 1972; Макаров и др., 1980; Бибик и др., 1998) предпосылки для образования скоплений криля в Атлантической части Антарктики создает сложная динамическая картина течений Южного океана в целом и западной части его Атлантического сектора в частности, а также наличие большого количества островов, круговорота моря Уэдделла, круговоротов и меандров в проливе Брансфилд и прилегающих зонах. Образование основных промысловых скоплений криля связано с циклоническими и антициклоническими

Fedoulov et al., (1996) отмечают, что в результате анализа советского промысла криля в районе Южной Георгии в северо-восточной части моря Скотия в период с 1974 по 1992 г. была обнаружена связь между компонентами системы «лед» «океан» и «атмосфера», а также установлена их корреляция с данными CPUE. Связи между положением кромки льда и атомосферными параметрами были сильно выражены только в годы преобладания экстремальных условий. Корреляция с температурой воды была более последовательной, что

поддерживает теорию о том, что на изменчивость численности криля в районе Южной Георгии влияет океанографический режим моря Скотия.

В 1990-е – 2000-е годы были продолжены исследования по влиянию гидрометеоусловий на распределение криля и роли в жизненном цикле. Ichii et al. (1998), Lascara et al. (1999), Nicol et al. (2000) показали, что сложные потоки у кромки шельфа и на свале глубин вдоль большей части антарктического побережья ответственны за циркумантарктическое распределения взрослой популяции криля. По оценкам Siegel (2000) молодь криля обитает в прибрежных водах, дрейфующих на запад, а икринки и личинки обнаруживаются в прибрежных водах с восточным дрейфом.

Hofmann and Murphy (2000) предполагают, что особи криля пассивно переносятся в полях геострофических потоков и что доминирующей системой течений в их жизненном цикле является антарктическое циркумполярное течение. Вместе с тем, как считают Ichii et al. (1998), Lascara et al. (1999), Nicol et al. (2000), более мелкомасштабные модели циркуляции в районах шельфа и склона в сочетании с активными вертикальными и горизонтальными миграциями популяции криля могут лучше объяснить региональное распределение и численность криля. Nicol (2006) рассматривает жизненный цикл криля как эволюционный продукт взаимодействий стадии личинок и взрослых особей с окружающей средой, как взаимодействие между поведением криля, системами океанских течений и морским льдом. Существует вероятная взаимосвязь между изобилием морского льда зимой и общей численность криля в Южной Атлантике следующим летом. Эта взаимосвязь обусловлена сообществом микроорганизмов, растущих на нижней стороне льда, которые обеспечивает пищей зимующих взрослых особей и личинок криля. Весной, когда тает морской лед, это подледное сообщество засеивает поверхностные воды водорослями – фитопланктоном.

Таким образом, изобилие морского льда приводит к появлению более обширных сообществ микроорганизмов морского льда и, следовательно, к более благоприятным трофическим условиям как зимой, так и весной, когда больше

биомассы водорослей попадает в поверхностные воды. Это предположение нуждается в эмпирической проверке.

Флорес с коллегами (Flores et al., 2012) указывают, что возможность ведения успешного промысла криля является пассивная миграция (вынос) криля в весенне-летний период Южного полушария из покрытой льдом шельфовой зоны Антарктиды или островной зоны в более мористые районы с сезонным выносом к северу льда и айсбергов, с которыми ассоциирован криль, где он активно питается, размножается, формируя промысловые скопления.

Чурин (2012, 2013), рассматривая воздействие гидрометеоусловий на распределение криля в АЧА, показывает, что зоны мезомасштабных неоднородностей поля скоростей течений их периферии являются местами формирования наиболее плотных скоплений криля в море Скотия. Спутниковые данные указывают на особенности мезомасштабной динамика вод, которые позволяют прогнозировать области повышенной концентрации крилевых скоплений в традиционных и океанических районах промысла.

Обобщенные результаты советских промыслово-океанологических исследований в Индоокеанском секторе Южного с начала 1970-х по конец 1980-х гг. доказали, что формирование скоплений криля и его интенсивный промысел связан с поступлением большого количества глубинных вод, отклоняемых на юг подводным хребтом Кергелен. А межгодовая изменчивость интенсивности Антарктического Циркумполярного Течения (АЦТ) проявляется в количестве поступающих в район моря глубинных вод, от чего зависит состояние гидроструктуры моря Содружества в разные годы и в конечном счете межгодовые колебания его продуктивности (Ланин, 2017).

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Характеристика материала

Основным объектом исследования явился антарктический криль, визуальные наблюдения за его скоплениями в виде эхометрических записей, зафиксированные гидроакустической поисковой аппаратурой, процесс промысла криля, динамика его уловов, абиотические факторы среды (ледовый покров, погода, гидрология). Элементы жизненного цикла взрослого криля: динамика распределения размерного состава, суточные и сезонные вертикальные миграции, промысловая биомасса криля на участках лова, а также изучение взаимосвязи между гидрометеорологическими факторами среды и размерным составом криля, величиной его уловов.

Материал для исследований собран лично автором в ходе 16 промысловых рейсов в период 2001–2017 гг. в АсА в трех подрайонах: Антарктический полуостров (подрайон 48.1), Южные Оркнейские острова (подрайон 48.2), остров Южная Георгия (подрайон 48.3) (Рисунок 13).

Сбор материала проводился преимущественно в осенне-зимний период Южного полушария (март–июль) в рамках гипотезы о решающем влиянии на продуктивность промысла урожайных поколений, интенсивности их выноса из высокоширотных и приостровных вод на участки лова, а также влияние гидрометеорологических факторов на последующее воспроизводство и формирование крилевого запаса.

Полевой материал был собран автором из уловов криля промысловыми тралами в эхолотированном верхнем 380-метровом слое воды на украинских судах БМРТ «Форос» (2001–2003, 2005 гг.), БАТ «Фиолент» (2002, 2003, 2005 гг.), РКТС «Конструктор Кошкин» (2006, 2008 гг.), РКТС «Море Содружества» (2013–2017 гг.), на американском судне РТМС «Тор Осеан» (2004 г.) и польском траулере БМРТ «Dalmor II» (2009, 2010 гг.) (Таблица 2). Фиксация криля, личинок и молоди рыб для обработки в береговых лабораторных условиях была выполнена с использованием раствора Н. Жука (Патент № 85105, 2008) (Приложение 1).

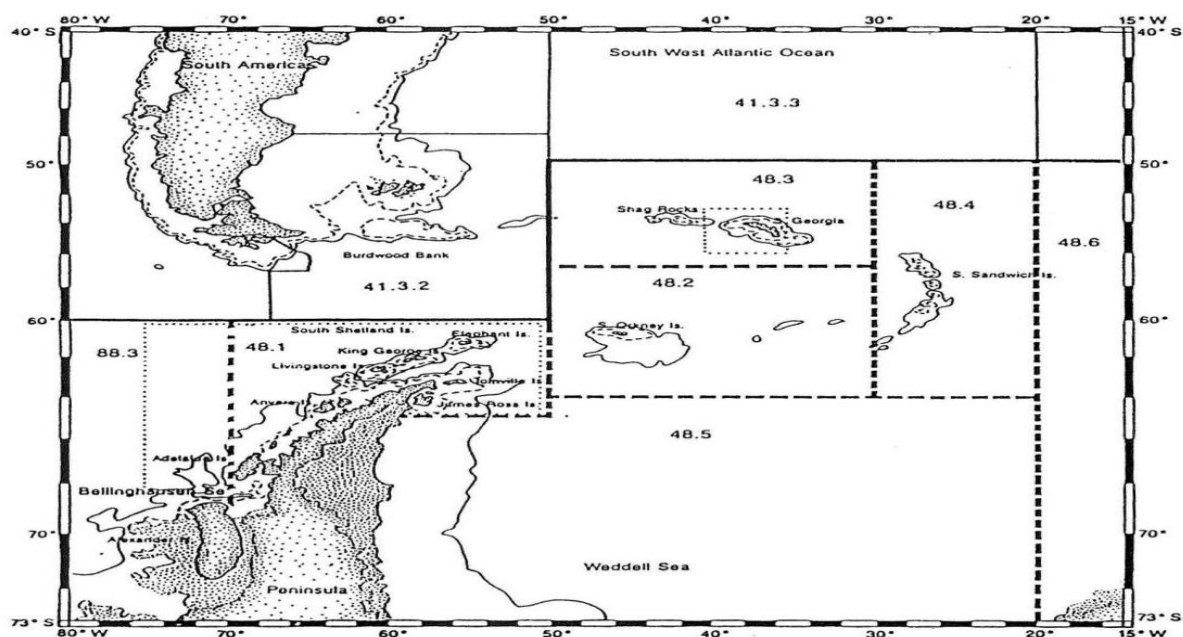


Рис. 13. Карта подрайонов 48.1, 48.2, 48.3 юго-западной части Атлантического сектора Антарктики, в которых выполнены исследования в период 2001–2017 гг.

Таблица 2

Объем собранного и обработанного полевого материала за период 2001–2017 гг.

Год. Название судна	Подрайон. Дата работ	Количество			Всего по под- району, экз.	Всего за рейс, экз.
		биоанализов / тралений	проанали- зировано, экз.	проме- рено, экз.		
1	2	3	4	5	6	7
2001 БМРТ «Форос»	48.1 19.05–26.06	69/245	6900	6900	6900	25000
	48.3 7.07–23.10	179/559	17900	17900	17900	
	48.2 27–28.10	2/5	200	200	200	
2002 БМРТ «Форос» БАТ «Феолент»	48.2 18.01–15.06	119/794	11900	29303	41203	71703
	48.3 22.06–04.08	122/781	12200	18300	30500	
2003 БМРТ «Форос»	48.2 22.04–06.05	13/74	1300	3300	4600	37400
	48.1 09–19.05	13/71	1300	3300	4600	
	48.3 30.05–19.09	100/582	1000	18400	28400	
2004 РТМС «Top Ocean»	48.2 24–28.03	8/-	800	800	1600	38000
	48.1 30.03–10.04	28/-	2800	2200	5000	

1	2	3	4	5	6	7
2004 РТМС «Top Ocean»	48.2 18.4–16.5	54/-	5400	6200	13200	38000
	48.3 08.06–02.08	94/-	9400	8800	18200	
2005 БАТ «Феолент» БМРТ «Форос»	48.2 03–06.05	5/15	800	800	1600	32600
	48.1 09–17.05	9/54	1800	1400	3200	
	48.3 23.05–17.08	90/524	13900	13900	27800	
2006 РКТС «Конструктор Кошкин»	48.2 22.02–13.03	0/237	0	0	0	2100
	48.1 14.03–26.05	21/970	2100	2100	2100	
2008 РКТС «Конструктор Кошкин»	48.2 18.03–28.04	78/565	7800	7893	15693	15693
2009 БМРТ «Dalmor II»	48.2 23.05–15.07	94/337	9400	8969	18369	18369
2010 БМРТ «Dalmor II»	48.2 03–16.03	16/123	1600	3052	4652	45651
	48.1 17.03–14.07	183/1052	18300	22699	40999	
2013 РКТС «Море Содружества»	48.1 05–11.04	6/38	600	550	1050	9233
	48.2 13.04–09.05	27/278	2700	2690	5390	
	48.3 19.06–07.07	14/122	140	1393	2793	
2014 РКТС «Море Содружества»	48.1 06.04–17.05	54/199	5400	0	5400	10200
	48.2 20.05–02.06	18/80	1800	0	1800	
	48.3 24.06–23.07	30/126	3000	0	3000	
2015 РКТС «Море Содружества»	48.1 09.02–15.05	95/595	9500	9500	9500	11200
	48.3 01.06–30.06	17/117	1700	1700	1700	
2016 РКТС «Море Содружества»	48.1 13.03–28.05	65/444	6500	6500	6500	6700
	48.2 02.04	1/2	200	200	200	
2017 РКТС Море Содружества»	48.2 25.02	1/1	100	100	100	9900
	48.1 28.02–20.06	84/822	8400	9800	9800	

Материалы по биологии, промыслу и гидрометеорологическим наблюдениям были выполнены в рамках программы АНТКОМ по научному наблюдению на промысле вида *E. superba* на акватории Южных Шетландских островов и пролива Брансфилд (подрайон 48.1), Южных Оркнейских островов (подрайон 48.2) и острова Южная Георгия (подрайон 48.3).

3.2 Орудия лова, система их мониторинга

На протяжении 14 промысловых сезонов суда применяли традиционную технологию промысла (трал поднимается на промысловую палубу). Были получены данные по промысловым уловам 9902 тралений разноглубинными пелагическими тралями трёх модификаций: канатные, сетные и бим трал (Приложение 2).

Разноглубинный канатный трал конструкции РТ/ТМ-74/600 использовался на облове скоплений криля на судах в период 2001–2008, 2013, 2015–2017 гг. Длина траля 134 м. Вертикальное раскрытие в зависимости от массы углубителей (250–1250 кг) составляло 33–40 м. Площадь входного отверстия в пределах мелкоячеистой вставки принята равной 94 и 165 м² (на уровне дели с размером ячеи 20 мм), а коэффициент уловистости 1. Минимальный размер ячеи мелкоячейной вставки (рубашки) в мешке тралов равен 10 мм.

По величине улова, скорости и продолжительности траления с учетом площади входного отверстия траля вычислялась удельная биомасса (плотность) скоплений в слое облова (г/м³).

Сетные траля — разноглубинный трал WP 1 производства Baltic Nets (Darlowo, Польша) и 330 MTR (нидерландская фирма «Maritiem BV»). В первом случае его использовали на судне РТМС «*Top Ocean*» (2004) и БМРТ «*Dalmor II*» (2009, 2010), во втором случае — на РКТС «*Море Содружества*» в 2015, 2016 гг.

Траля WP 1 и 330 MTR имели в устье вшитое селективное полотно или устройство (A sea lion excluder device — SLED) для предотвращения поимки морских млекопитающих (Приложение 3). Угол его наклона порядка 80° с шагом ячеи 100 мм. Практика промысла криля с применением данной конструкции SLED на участках промысла с разной степенью агрегированности морских

котиков, обеспечила отсутствие их поимки, в том числе в водах Южной Георгии.

Бим трал норвежской конструкции применяли на борту РКТС «*Море Содружества*» в 2014 г. Трал связан (соединен) с бим балкой, заменяющей траловые доски. Длина сети трала равна 100 м. Горизонтальное раскрытие трала соответствовало длине бима 18 м, вертикальное раскрытие — 20 м обеспечивалось за счёт массы углубителей. Внутренняя вставка трала и вставка в траловый мешок изготовлены из нейлона FM 12 мм. В устье трала находилось высокоэффективное селективное устройство, исключив поимки морских млекопитающих.

Время лова колебалось от 0:10 до 1:30 часа, но в среднем не превышало 1 часа для тралений в период 2001–2010 гг. и 0:20–3:00 часов для 2013–2017 гг. Скорость траления колебалась от 2,1 до 3,0 узла, средняя величина в период наблюдений составила 2,5–2,7 узла.

В качестве системы мониторинга трала на промысловых судах на протяжении 2001–2005 гг. использовался комплекс «Furuno» FNP-400 с рабочей частотой 50 kHz. В 2006, 2008 г. на РКТС «*Конструктор Кошкин*» была установлена бескабельная система контроля раскрытия трала Samyung SYN-400 CR. В 2009, 2010 гг. на траулере «*Dalmor II*» использовалась система контроля трала Furuno — CN-24. С 2013 года на судах применялся мониторинговый комплекс бескабельной системы точного контроля — «Trawl Master» (корпорация Notus Electronics Ltd, Canada) и «MartPort» (фирма MartPort, Canada), обеспечивавший контроль работы всех основных параметров трала.

Практика промысла показала положительные эксплуатационные качества: высокую помехоустойчивость, наличие дополнительных функциональных параметров, таких как глубина погружения прибора, уровень заряда батареи, положение приборов продольной и поперечной оси, температура воды на горизонте траления. Датчики сохраняли работоспособность в условиях низких температур (минус 18 °C). В 2013 г. на судне использовали систему Notus, которую в 2014 г. заменили на MartPort, как более эффективную и в полной мере соответствующую требованию Меры 25-03 (2016).

3.3 Методы сбора и обработки данных

Поиск и ведение промысла криля реализованы согласно методическим рекомендациям ВНИРО (Методические рекомендации..., 1986). Объем собранного и проанализируемого материала представлен в таблице 2.

Методика сбора и обработки данных по биологии *E. superba*

Массив данных по биологическому состоянию криля собран по методикам ВНИРО (Методические указания..., 1982) и CCAMLR *Scientific Observers Manual* (2000, 2006, 2011) в рамках программы по научному наблюдению в зоне АНТКОМ. Выполнялись два вида анализа: массовый промер и биологический анализ. Ежедневно отбирались пробы из улова трала, время траления которых не превышало 1,5 часа. Пробы отбирались на промысловой палубе при выливке улова из тралового мешка два раза в разное время суток. Это позволило корректно характеризовать пространственное и батиметрическое распределение размерного состава и динамику питания криля. Общий вес пробы, которая делилась на ряд подвыборок с отбором 100 или 200 экз. криля соответственно для биологического и размерного анализа составлял 5–8 кг. При выполнении биологического анализа измерялась общая длина тела (TL, мм), пол, балл наполнения желудков. При массовом промере пол и наполнение желудков не учитывались.

Длина рачков измерялась на миллиметровом планшете с точностью до 1 мм. Пробы криля, личинки и молодь рыбы взвешивались на электронных весах Pols P-15/S-182 с точностью 0,01 г. Пол криля определялся с использованием бинокля МБС при увеличении 2×8 по трем категориям: половозрелые самки и самцы при наличии теликума и петазмы и ювенальные особи самок и самцов без развитых вторичных половых признаков. Определение стадий зрелости криля выполнялось в соответствии со «Справочником научного наблюдателя» АНТКОМ (CCAMLR, 1999), репродуктивный цикл которого подразделяется на 7 стадий.

Кроме вышеуказанной шкалы стадий криля существуют две другие шкалы. Одна – четыре стадии: ювенальные особи, половозрелые самцы, половозрелые самки и икраные самки (CCAMLR, 2011). Вторая — стадии зрелости криля по

Макарову и Дэнису (Makarov, Denys, 1980) с ювенальными особями, пятью стадиями у самцов и шестью стадиями у самок. При выполнении биологических анализов автором использовалась шкала АНТКОМ (CCAMLR, 1998), которая наиболее достоверно отражает изменение репродуктивного состояния криля в период исследования.

Размерный состав рачков на протяжении 2001–2017 гг. нами был подразделен на три группы. Первая группа — мелкоразмерная, это — неполовозрелая молодь — рекруты (особи до 41,0 мм), вторая группа — среднеразмерная — половозрелые как впервые, так и повторно нерестящиеся особи (41,1–47,0 мм), и третья группа — крупноразмерная — половозрелые, повторно нерестящиеся особи (47,1–59,0 мм).

Статистическая обработка полученных данных основывалась на методах математической статистики, рекомендованных для применения в биологических исследованиях (Рокицкий, 1973; Clarke, Warwick, 2001).

Данные вариационных рядов из полевых журналов обрабатывались при помощи компьютерных программ с применением статистических функций.

Методика сбора и обработки гидрометеорологических данных

Метеорологические наблюдения на протяжении промысловых сезонов 2000/2001–2016/2017 гг. выполнялись научным наблюдателем на промысловых судах два раза в сутки 08 и 18 часов по судовому времени (Руководство..., 1977). Комплекс работ состоял из регистрации температуры воздуха, температуры поверхности океана (ТПО), направления и скорости ветра, степени волнения океана, приземного атмосферного давления с помощью судовых приборов, а также наличия морского льда и айсбергов. В 2013–2017 гг. эти наблюдения проводились для каждого траления — до 9 раз в сутки с привлечением штурманского состава. Общее число наблюдений составило 5354, из них в период 2001–2010 гг. — 2568, в период 2013–2017 гг. — 2786.

В районе промысла для анализа метеорологических условий и безопасности мореплавания использовались карты погоды NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). В период 2013–2017 гг. на промысловое судно

поступали карты ТПО и поверхностной циркуляции вод из отдела научно-промысловой разведки АтлантНИРО. Применение спутниковых карт ТПО позволило сократить время и сузить районы поиска криля, тем самым увеличив промысловое время, что особо актуально в водах Антарктики.

Методика сбора и обработка данных промысловой статистики, идентификация скоплений гидробионтов

Сбор данных промысловой статистики выполнен в период 2001–2017 гг. по 9902 тралениям и включал следующую информацию: дату, время, координаты постановки и выборки трала, продолжительность траления, глубину места, горизонт лова и величину улова. Облов скоплений криля на судах РКТ-С выполнялся тралом (модель 74/600), что позволило объективно сопоставлять уловы на усилие (CPUE) за разные годы. Коррекция суточного вылова оценивалась технологом с учетом выпуска судном готовой продукции — бланшированного мяса из криля-сырца и крилевой муки по применяемым коэффициентам переработки 10 и 6,4 соответственно, для вида продукции. Распределение суточного вылова по тралениям проводилось с учетом визуальной оценки величины улова по объемному методу тралового мешка, включая объем приемных ванн. В расчетах учитывался насыпной вес криля-сырца в единице объема (10 л), который колебался в пределах 7,8–8,6 кг и зависел от размерного состава и упитанности.

Межгодовая и сезонная динамика промысловых показателей была получена по уловам и промысловому усилию (т/час) в промысловых подрайонах 48.1–48.3.

Идентификация скоплений криля, салып выполнена с применением приборов бортового акустического оборудования: эхолот Koden CVS 8822, Zoleran, Simrad ES 70, гидролокатор Wesmar HD 800-100, Wessmar 850 sonar, Furuno CN-110 и прибор NT 607 C. На экране мониторов поисковой аппаратуры наблюдали за нырянием морских котиков, пингвинов, китов.

Методика расчета биомассы и прогноза вылова криля

Количественная оценка биомассы криля в проливе Брансфилд (подрайон 48.1) была выполнена в промысловые сезоны 2005/2006 и 2016/2017 гг. на основе

приложенного промыслового усилия и данных уловов 802 тралений с использованием трала 74/600 м. Расчет плотности криля на промысловых

участках выполняли по формуле: $B = \frac{P \times 10^8}{V \times 30,87 \times S \times T} \times \frac{1}{K}$, где:

B – плотность биомассы, г/м³;

P – улов, т;

V – скорость траления, узлы;

30,87 – коэффициент для перевода скорости траления из узлов в м/с;

S – площадь отверстия трала на уровне мелкоячейной вставки, м;

T – время траления, мин.;

K – коэффициент уловистости трала для криля равный 1.

Биомасса криля в обловленных скоплениях определялась по формуле: $\beta = P_v V$, где:

β — биомасса скоплений криля (т),

P_v — средняя плотность на участке скоплений (г/м³),

V — объем скоплений (м³) (Бибик, 1996).

Площадь входного отверстия на уровне мелкоячейной вставки равнялась 94 м² (размер ячеи 20 мм). Коэффициент уловистости трала на уровне мелкоячейной вставки был принят за единицу. Скорость тралений колебалась от 2,2 до 4,2 узла и в среднем составила 2,8 узла. Время лова варьировало от 15 до 180 минут, в среднем — 73 минуты. Высота максимальной плотности криля в скоплениях в толще воды принята из расчета 40 м. Плотность биомассы за траление рассчитывалась, исходя из протраленного объема воды.

Для каждого улова была вычислена плотность биомассы рачков в г/м³, значения которой интерполировали по изолиниям менее 10 г/м³, 25, 50, 120 г/м³, и получены средневзвешенные оценки биомассы. Для получения средневзвешенных значений плотности биомассы криля на промысловых участках внутри их были выделены зоны с равновеликими уловами и рассчитаны их площади (Аксютин, 1968; Аксютин, 1970). Доверительные интервалы рассчитаны с вероятностью 0,95. Картирование данных плотности биомассы и расчет площадей с разной

градацией и равновеликими уловами выполнены с помощью пакетов программ Golden Software Surfer 9 и QGIS 2.18.16, а расчеты статистических параметров с применением пакета программ Microsoft Excel 2010.

Прогноз промысла криля для рыбных организаций с годичной заблаговременностью основывался на урожайности поколений рачков, в которых доля молодежи в уловах составляла 70–80. В дальнейшем с целью усовершенствования прогноза вылова была применена методика Бибика, Брянцева (2007) дополненная связью: промысловый индекс – гидрометеорологический фактор – гео- или гелиофизических фактор или их комбинация. Для практического прогнозирования в качестве предикта применялся только последний «первичный» фактор – индекс солнечной активности в виде чисел Вольфа, а также их аномалии $W' = W_i - W_{ср}$, рассчитанный по формуле:

$$W = k (10 g + f) (1), \text{ где:}$$

g – число наблюдений групп и отдельных пятен, подсчитанных в этих группах и отдельно;

f – полное число пятен, подсчитанных в этих группах и отдельно;

k – коэффициент, зависящий от наблюдателя и его трубы

В процес се применения данной методики, нами по-прежнему учитывалась доля молодежи в размерном составе криля на промысловых участках статистических подрайонов АсА.

Фиксация личинок и молодежи рыб для камеральной обработки в береговых лабораторных условиях была выполнена с использованием раствора Н. Жука (Патент № 85105, 2008).

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

4.1 Динамика гидрометеорологических условий промысла антарктического криля в подрайоне Антарктического полуострова в 2006-2017 гг.

Сложная структура экосистемы Антарктики и ее биологическое разнообразие обусловлены сочетанием многочисленных взаимодействий биологических и физических факторов. На промысле криля важным является вопрос понимания механизмов взаимосвязи гидрометеорологических факторов и промыслово-биологических показателей. Наиболее полные и сопоставимые данные по гидрометеорологии были получены для Антарктического полуострова в 2006, 2014-2017 гг.

Гидрометеорологические условия в 2006 г.

У острова Элефант во второй декаде марта преобладала штилевая и маловетренная погода (повторяемость 43 %). Среди ветров доминировал северо-западный ветер (30 %) со средней скоростью 3,5 м/с. Температура воздуха была положительной (средняя 2,2 °С). Температура поверхностного слоя океана (ТПО) изменялась от 1,6 до 1,0 °С. Айсберги отсутствовали.

У острова Ливингстон (22 марта-5 мая) преобладали западные, северо-западные ветры (в 42 % случаев); штилевые погоды отмечены в 9 % от числа выполненных наблюдений. Средняя скорость ветра составила 8,8 м/с. Температура воздуха изменилась от +4,5 до минус 3,8 °С, с заметным понижением в конце первой декады апреля. ТПО в третьей декаде марта составляла 1,5-2,0 °С, в апреле – 1,5-0,5 °С, в начале мая – 0,6-0,9 °С. Айсберги на промысловых участках и на переходах в поле видимости не наблюдались.

В проливе Брансфилд в мае преобладали западные с повторяемостью 48 % и северо-западные (22 %) ветры (Рисунок 14). Их средняя скорость была 10,6 м/с, а максимальная – 17 м/с. Штиль отсутствовал. Температура воздуха постоянно была отрицательной в пределах минус 1,5-3,0 °С, при минимуме воздуха минус 9,5 °С. Температура воды изменялась в пределах 1,4-1,7 °С со знаком минус.

Плавучий лед отсутствовал. Айсберги встречались только восточнее меридиана 58° W, примерно в 15-20 милях к северу, северо-западу от северного побережья Антарктического полуострова. В поле зрения их одновременно насчитывалось до 40 штук, преобладающей длиной 200-400 м.

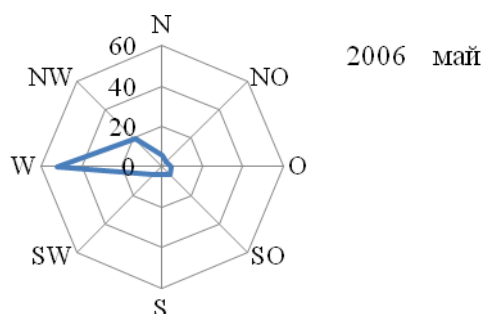


Рис. 14. Роза ветров в проливе Брансфилд в мае 2006 г.

Гидрометеорологические условия в 2014 г

В апреле преобладали западные ветра (34,8 %) (Рисунок 15). Температура воздуха колебалась от 1,4 до минус 6,1 °С, среднее значение минус 1,4 °С. ТПО в среднем равнялась минус 1,56 °С, что ниже значения 2013 года на минус 0,66 °С. Скорость ветра варьировала от 0,3 до 22,3 м/с, в среднем 6,8 м/с, что соответствовало 4 баллам шкалы Бофорта. Повторяемость восточного ветра 17,5 %. Атмосферное давление было от 977 до 1022 мбар, среднее его значение 999 мбар.

В мае синоптическая ситуация претерпела изменение в результате смены западных ветров на восточные с увеличением их повторяемости до 35,1 % (Рисунок 15). Это привело к понижению температуры воздуха и поверхности океана до средних значений минус 3,0 и минус 1,7 °С соответственно.

Атмосферное давление колебалось от 971 до 1008 мбар. Его среднее значение, по сравнению с апрелем, понизилось до 995 Мб. Это привело к усилению ветровой активности, среднее значение которой равнялось 7,5 м/с.

Льды на участках промысла отсутствовали.

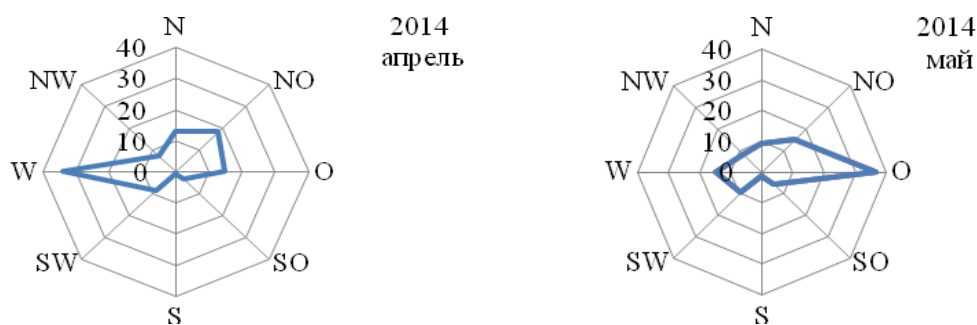


Рис. 15. Роза ветров в проливе Брансфилд в апреле, мае 2014 г.

Гидрометеорологические условия в 2015 г.

В сезон 2015 года над проливом Брансфилд доминировали западные ветры, повторяемость которых колебалась в диапазоне 34–49 % и росте повторяемости восточных ветров от 18 до 22 % (Рисунок 16). Средняя скорость ветра в марте–мае была в диапазоне 7,1–8,3 м/с, что соответствовало 4 баллам по шкале Бофорта. Температура воздуха колебалась от 4,4 °С в марте до минус 6,2 °С в мае. Постепенно происходило выхолаживание ТПО от минус 0,5 °С в марте до минус 1,6 °С в мае. Атмосферное давление было в пределах 988–992 Мб.

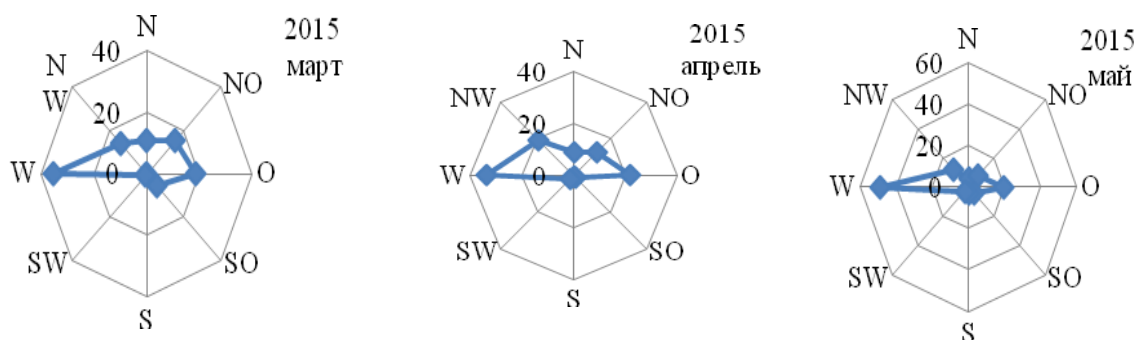


Рис. 16. Роза ветров в проливе Брансфилд в марте–мае 2015 г.

Гидрометеорологические условия в 2016 г.

Март. Над проливом Брансфилд преобладали ветры западных и северо-западных направлений (65,3%). Доля северного, северо-восточного и восточного ветра была гораздо меньшей (26,44), а ветры южного направления были незначительны (8,3%) (Рисунок 17) Их скорость составила в среднем 8,7 м/с, что соответствовало 5 баллам шкалы Бофорта. Атмосферное давление колебалось в

пределах 969 - 1002 Мб, что в среднем 986 Мб Температура воздуха колебалась от 2,9° до минус 2,7 °С, ТПО от минус 0,3 до минус 1,1°С, при средних значениях 0,2 °С и минус 0,74 °С соответственно.

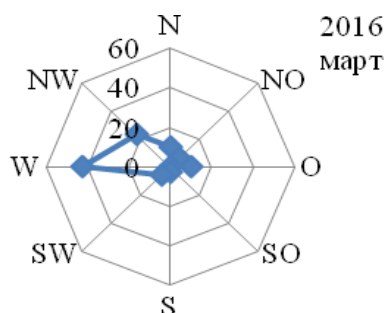


Рис. 17. Роза ветров в проливе Брансфилд в марте 2016 г.

Апрель. Среди направлений ветров господствовал западный ветер (повторяемость 60,5–78,6%) (Рисунок 18). Колебание скорости ветра было в широком интервале от 4 до 24,3 м/с, при среднем значении 9,7 м/с, что соответствовало 5 баллам шкалы Бофорта. Происходило постепенное понижение температуры воздуха и ТПО. Их значения варьировали для воздуха от +1,8°С до минус 1,3 °С, ТПО от минус 1,8 °С на востоке пролива до минус 0,7 °С на западном промысловом участке пролива. Средние значения для воздуха и ТПО 0 °С и минус 0,8 °С соответственно. Средний показатель атмосферного давления - 988 Мб, что аналогично марту.

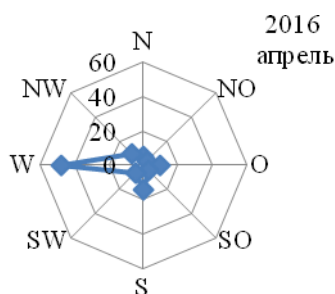


Рис. 18. Роза ветров в проливе Брансфилд в апреле 2016 г.

В периоды со значительными перепадами давления наблюдались смены направлений ветров с запада (57%) на юг (25,4%) и обратно. Это отразилось в понижении ТПО от минус 0,7 °С в начале месяца до минус 1,8 °С в конце месяца.

Перемена направлений ветров различной силы (в среднем 11,0 м/с), в том числе штормовых, приносила в пролив волны как теплого, так и холодного воздуха. Переменчивые метеорологические условия оказывали негативное влияние на ведение промысла и, как следствие, потерю промыслового времени. Ледовая обстановка была удовлетворительной.

Май. На протяжении месяца над акваторией пролива Брансфилд преобладали западные ветры с максимальной повторяемостью до 77,8 % (Рисунок 19), а в третье декаде с их максимумом повторяемости 85,4 %. Скорость ветра колебалась от 0,5 до 25 м/с, в среднем 10,0 м/с, имея подекадные отличия в сила ветра 5–6 баллов шкалы Бофорта.

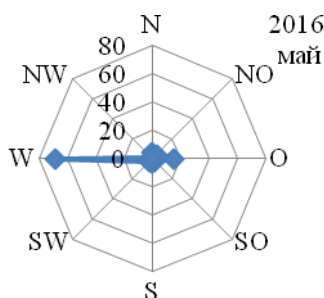


Рис. 19. Роза ветров в проливе Брансфилд в мае 2016 г.

Отдельные проникновения на акваторию пролива восточных ветров (6,3%) приводили, к непродолжительному понижению температуры воздуха до минус 9,5 °С. Средний показатель температуры воздуха составил минус 2 °С, а ТПО минус 1,26 °С. Атмосферное давление варьировало от 972 до 1015 Мб, в среднем 1000 Мб. Льды на акватории пролива отсутствовали.

Гидрометеорологические условия в 2017 г.

Март. Синоптическая ситуация в каждой декаде месяца отличалась друг от друга. В первой декаде марта, в первой ее половине, преобладали ветры южных румбов, достигавшие скорости до 22 м/с (повторяемость 58,8 %) и с понижением температуры воздуха до минус 3,9 °С. Во второй половине декады произошла смена ветров с южных на западные румбы (65,4 %), вызвавшие повышение

температуры воздуха до $0,3^{\circ}\text{C}$ при среднем значении за декаду минус $1,17^{\circ}\text{C}$. Штилевая погода зарегистрирована в 18 % наблюдений. Средняя скорость ветра за первую декаду равнялась $4,2\text{ м/с}$, что соответствовало 3 баллам шкалы Бофорта. Атмосферное давление было в пределах 999-1018 Мб, в среднем 1012 Мб.

Обращает внимание характеристика ТПО, которая колебалась в широком диапазоне, составив северо-восточнее о-ва Жуэнвиль и севернее о-ва Д'Юрвиль минус $1,5^{\circ}\text{C}$, а на подходе к бухте Дискавери острова Гринвич ($62^{\circ}34'$ ю.ш., $059^{\circ}24'$ з.д.) $1,8^{\circ}\text{C}$. На промысловых участках отмечалась тенденция понижения ТПО с запада на восток от $0,4^{\circ}$ до минус $1,5^{\circ}\text{C}$, составив в среднем минус $0,67^{\circ}\text{C}$.

В третьей декаде марта над районом промысла преобладали ветры западных и северо-западных румбов (91,8%), при доминировании западного ветра (62,2%) (Рисунок 20). Южные ветры отсутствовали.

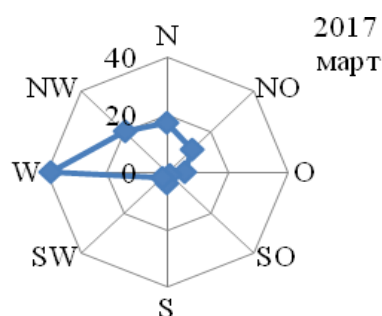


Рис. 20. Роза ветров в проливе Брансфилд в марте 2017 г.

Апрель. В первой декаде месяца над акваторией пролива Брансфилд господствовали относительно теплые воздушные массы с преобладанием ветров западных румбов (58,2 %) и средней температурой $0,2^{\circ}\text{C}$. Во второй декаде (в начале и конце) акватория промысла находилась под влиянием восточных и юго-восточных штормовых ветров. Они вызвали понижение температуры воздуха в начале декады до минус $8,2^{\circ}\text{C}$, а в конце до минус $10,5^{\circ}\text{C}$. В середине декады наблюдались западные ветры с повышением температуры воздуха до $1,2^{\circ}\text{C}$. Колебание температур было минус $10,5^{\circ}\text{C}$ – минус $1,2^{\circ}\text{C}$, в среднем минус $2,1^{\circ}\text{C}$.

Во второй декаде (в начале и конце) акватория промысла находилась под влиянием восточных и юго-восточных штормовых ветров. Они вызвали понижение температуры воздуха в начале декады до минус 8,2 °С, а в конце — до минус 10,5 °С. В середине декады наблюдались западные ветры с повышением температуры воздуха до 1,2 °С. Колебание температур составило минус 10,5 °С – минус 1,2 °С, в среднем минус 2,1 °С.

ТПО повышалась с востока (минус 1,5 °С севернее острова Д'Юрвиль) на запад (0,1 °С у острова Тринидад). На восточном промысловом участке она составила в среднем минус 1,36 °С, на западном минус 0,6 °С. Отмечался устойчивый западный перенос водных уэдделломорских масс, с которыми на акваторию промысла привносилась молодь криля.

В третьей декаде апреля преобладающими ветрами были западные 46,1 % при высокой повторяемости и восточных 34,1% ветров. Их скорость колебалась от 0,4 до 18,4 м/с, в среднем 8,3 м/с, соответствуя 4 баллам шкалы Бофорта. Температура воздуха была отрицательной, как при восточных (минус 11,0 °С), так и при западных (минус 1,0 °С) ветрах. Среднее ее значение равнялось минус 4,2 °С. Холодные воздушные массы продолжали выхолаживание поверхностных вод до минус 1,8 °С. В среднем ТПО за декаду составила минус 1,62 °С.

Итак, в апреле по-прежнему преобладали западные ветры (Рисунок 21) вследствие чего пролив Брансфилд был освобожден ото льда, а участвовавшие восточные ветры способствовали выхолаживанию поверхностных вод океана.

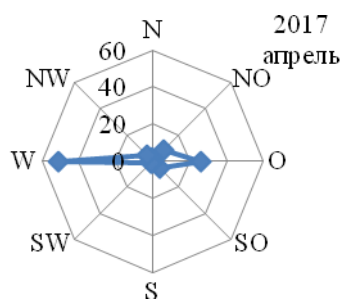


Рис. 21. Роза ветров в проливе Брансфилд в апреле 2017 г.

Май. В первой декаде над акваторией промысла доминировали восточные (31,5 %) и северо-восточные ветры (31,6 %). Это определило понижение температуры воздуха до минус 7,1 °С, а ТПО до минус 1,8 °С. При западных ветрах (21,0 %) наблюдалось повышение температуры воздуха до минус 1,3 °С, а возле о. Робертсон до 0,3 °С. Средние значения температуры воздуха и ТПО за первую декаду мая составили минус 3,4 °С и минус 1,3 °С соответственно. Скорость ветра колебалась от 0,4 м/с (19,7 % штилевой погоды) до штормовой со скоростью 21,0 м/с, а в среднем за декаду 8,9 м/с, что соответствовало 5 баллам шкалы Бофорта.

Во второй декаде мая по-прежнему доминировал северо-восточный (32,4 %) и восточный ветер (27,0 %) с отрицательным значением температуры воздуха, в среднем минус 6,2 °С. Западные ветры (29,7 %) уступали восточным.

ТПО на восточных участках промысла составляла в среднем минус 1,86 °С, на западном участке у острова Сноу 0,2 °С, у острова Тринити минус 1,3 °С. Наблюдалась частая смена направления восточного ветра на западный ветер и обратно. Их скорость на протяжении декады колебалась в широком диапазоне от 0,4 до 24,5 м/с, в среднем 9,2 м/с, соответствуя 5 баллам по шкале Бофорта. Штилевая погода отмечена в 8,1 % наблюдений. Атмосферное давление не претерпело изменений по сравнению с первой декадой мая, и в среднем составило 992 Мб.

В третьей декаде восточный ветер сменился на западный (48,8%). Произшедшие изменения в преобладании направления ветра (западные румбы) не повлияли на изменения его скорости (в среднем 9,4 м/с). Средний показатель атмосферного давления воздуха остался без изменения (994Мб).

Переменный характер направления ветров обуславливал перепады значения температуры воздуха. При восточных румбах они были в диапазоне минус 5,2 °С – минус 11,0 °С, в среднем минус 7,4 °С, при западных 3,0° – минус 3,4 °С, в среднем минус 0,85 °С. За декаду средняя температура воздуха составила минус 4,0 °С.

Таким образом, на протяжении мая в целом преобладали восточные ветры (Рисунок 22), приведшие к выхолаживанию океана, вплоть до его замерзания и образования молодого льда, шуги. Отмечались участки с полями зрелого блинчатого льда и льда от айсбергов, осложняющие промысловые работы.

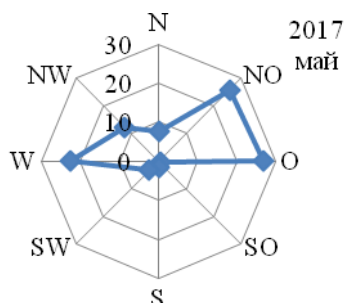


Рис. 22. Роза ветров в проливе Брансфилд в мае 2017 г.

Июнь. В первой декаде месяца над акваторией к востоку от острова Тринити преобладал северо-восточный (52,5 %) ветер, в меньшей мере – восточный (23,7 %) и минимуме западный ветер (6,8 %). Следует отметить значительное наличие штилевой погоды (24,4 %). Скорость ветра колебалась от 0,3 до 20,2 м/с, в среднем 5,5 м/с, что соответствовало 4 баллам шкалы Бофорта. Северо-восточные и восточные ветра понизили температуру воздуха до минус 6,9 °С, а в среднем — минус 3,3 °С. Эти ветры выхолили поверхность океана до минус 1,9 °С при средней ТПО минус 1,76 °С Атмосферное давление колебалось в пределах 986-1006 Мб, составив в среднем 996 Мб.

Вторая декада мая всецело продемонстрировала влияние зонального типа атмосферной циркуляции, но с преобладанием ветров восточных румбов: северо-восточный 34,8 %, восточный 20,3 %. По сравнению с первой декадой июня увеличилось в 3,7 раза присутствие западных 23,2 %, северо-западных 8,7 % ветров. Восточный перенос воздушных масс из моря Уэдделла понизил температуру воздуха до минус 10,1 °С, в среднем минус 4,2 °С, при западных ветрах — до минус 5,3 °С, в среднем минус 3,2 °С.

Скорость ветра испытала широкий диапазон от 3,1 до 37 м/с, в среднем 11,5 м/с, что равно 6 баллам шкалы Бофорта. Штилевая погода отсутствовала.

Повторяемость синоптической ситуации (ПСС) в связи с прохождением циклонов со штормовыми ветрами участвовала, что отразилось в потере промыслового времени. В дальнейшем подобная ситуация, из опыта предыдущих лет, будет только усугубляться. Штормовым погодой предшествовало падение атмосферного давления до 965 Мб.

Таким образом, в июне над проливом Брансфилд преобладали ветры восточных румбов (64,9 %), при доминировании северо-восточного (43,0 %) (Рисунок 23).

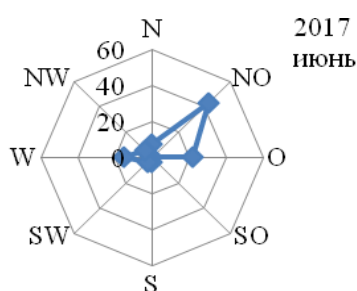


Рис. 23. Роза ветров в проливе Брансфилд в июне 2017 г.

В этот же период на промучастке у острова Сноу и в проливе Бойд ТПО колебалась в узком интервале от минус 0,7 °С до минус 0,8 °С. На участке к юго-востоку от острова Десепшен отмечено значительное выхолаживание поверхностных вод до минус 2,1°С, что указывало на присутствие вод уэдделломорского происхождения. Айсберги на промысловых участках отсутствовали.

Обсуждение

Представленные данные гидрометеорологических условий в подрайоне Антарктического полуострова и, в частности, акватории пролива Брансфилд, свидетельствуют о наличии внутрисезонных и межгодовых отличий. Особый интерес в плане синоптической характеристики отмечен в переносе воздушных масс с зональным типом.

В 2006 и 2016 гг. этот тип с абсолютным доминированием ветров западных румбов оказывал влияние на гидрологические условия, которые усиливали проникновение водных масс из моря Беллинсгаузена через западные «ворота»

пролива Брансфилд далее на восток, достигая $057^{\circ}45'$ з.д. Противоположными указанным годам были 2014, 2015, 2017 гг. с зональным типом атмосферной циркуляции, но с увеличением повторяемости ветров восточных румбов, которые достигали максимума повторяемости до 65 % в июне 2017 г. Усиление влияния ветров восточных румбов, как мы видим, предопределило мощный заток вод моря Уэдделла вплоть до меридиана о. Десепшен ($60^{\circ}12'$ з.д.). Именно здесь проходят две структурные зоны, прослеживается фронт, который хорошо выражен в полях температуры, солёности, динамических высот и некоторых гидрохимических характеристик, который идентифицирован как западный участок Фронта моря Уэдделла (ФМУ) (Peterson, Stramma, 1991), расположенного восточнее о. Десепшен (Артамонов и др., 2003).

Наши исследования в 2017 г. по результатам измерения солёности поверхностных вод океана подтверждают наличие вод ФМУ. Показатели солёности этих вод равнялись 34,19 и 35,00 ‰ при значении ТПО минус $1,76^{\circ}\text{C}$ и минус $2,1^{\circ}\text{C}$ соответственно. О наличии этих водных масс с различными свойствами и происхождением, достигающих северной оконечности Антарктического полуострова, свидетельствуют присутствующие плотные водные массы, погружающиеся и заполняющими глубоководные бассейны пролива Брансфилд (van Caspel et al., 2018). Отмечаются отдельные случаи переноса высокосолёных вод в юго-западном направлении вдоль континентального шельфа на запад Антарктического полуострова, достигая пролива Жерлаш (Sangrà и др., 2017; Kerr et al., 2018).

Влияние основного геострофического потока из моря Беллинсгаузена, направленного на северо-восток вдоль ФМУ, формирует циклонический круговорот. Одна часть вод направляется в проливы между островами Ливингстон, Сноу и Смит, другая – в северную часть пролива Брансфилда, восточнее о-ва Десепшен. Здесь же отмечается поток вод из пролива Дрейка (Артамонов и др., 2003)

Таким образом, гидродинамические условия в подрайоне Антарктического полуострова за период с 2006 по 2017 гг. (с перерывами) свидетельствуют о

формировании поверхностных водных масс, находящихся в тесной связи с сезонной изменчивостью метеорологических процессов Южного полушария (Масленников, 2003). Максимальные объемы холодных вод отмечаются в зимне-весенний период, теплых – летом-осенью, что еще раз подтверждает концепцию о локальном механизме формирования поверхностных вод. Именно сезонная и межгодовая изменчивость водных масс и гидрологических фронтов является важным абиотическим фактором, определяющим биопродуктивность вод Мирового океана (Ломакин, Скрипалева, 2008). О существовании значительных колебаний температуры на одних и тех же участках пролива Брансфилд указывают данные его температуры, что в сравнении с февралём–мартом 1998 года (Попов и др., 2000) гораздо выше (0,7–1,3 °C) 2016 года (минус 0,3° – минус 1,1 °C).

Наши результаты вписываются в общую картину гидрографических исследований бразильских ученых (Dotto et al., 2021), собранных из различных источников за период с 1990 до 2019, которые подводят итоги о распределении водных масс и океанографических особенностях региона Антарктического полуострова и пролива Брансфилд как более точные, чем другие, имеющиеся в настоящее время оценочные результаты. Следует отметить, что их обширный массив данных лишен упоминания о влиянии воздушных масс на гидроструктуру рассматриваемого региона, в том числе связи водных масс с антарктическим крилем и другими гидробионтами Антарктики.

4.2 Размерный состав и особенности биологии антарктического криля в подрайоне Антарктического полуострова в 2006-2017 гг.

Для анализа размерного состава криля во время промысловых работ нами использовалась модальная длина размерных рядов как характеристика, не зависящая от различий размеров ячеек в траловых мешках (Корзун, Жук, 2015). При этом надо отметить, что размеры антарктического криля в уловах конвенционных тралов и систем непрерывного лова также практически не различаются (Сологуб, 2016).

Сезон 2006 год.

Остров Мордвинова. В марте 2006 г. агрегации криля высокой плотности в виде нескольких пятен протяженностью от 2–3 до 5–7 миль удерживались над глубинами от 120 до 800 м. В уловах присутствовал криль длиной 33–61 мм и был представлен двумя группами половозрелых особей. Первая группа — с модальным классом 45–47 мм облавливалась над островным шельфом у поверхности (20–50 м), вторая — 49–51 мм — у кромки шельфа или за его пределом в горизонте 85–120 м (Рисунок 24).

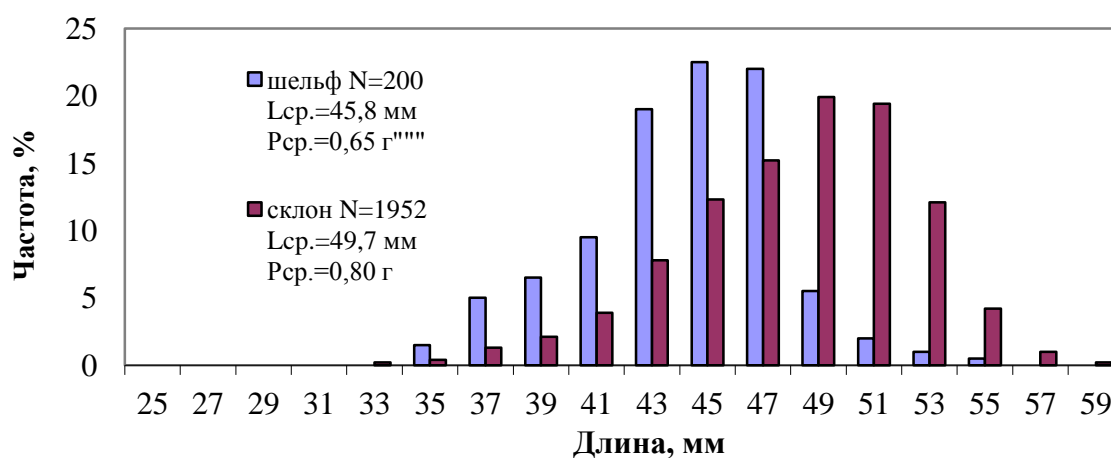


Рис. 24. Размерный состав криля у о. Мордвинов в марте 2006 г.

Архипелаг Пальмир. Район, примыкающий к архипелагу Пальмир, в случае наличия фронтальной зоны, характеризуется как район с высоким потенциалом первичной продукции (Сысоев, Сысоева, 2005) и является благоприятным для концентраций антарктического криля, что было подтверждено в ходе промысла.

В уловах присутствовал крупноразмерный криль с модальным классом 53–55 мм. Его средняя длина и масса составили 52,8 мм и 0,98 г, (Рисунок 25). При этом нерестовые самки были крупнее самцов. Криль на этом участке, выловленный в сезон 2006 года, был наиболее крупным в масштабе всего промыслового района. Полученные данные размерной структуры и биологического состояния криля аналогичны осеннему периоду 1998 г. (Савич, 2000).

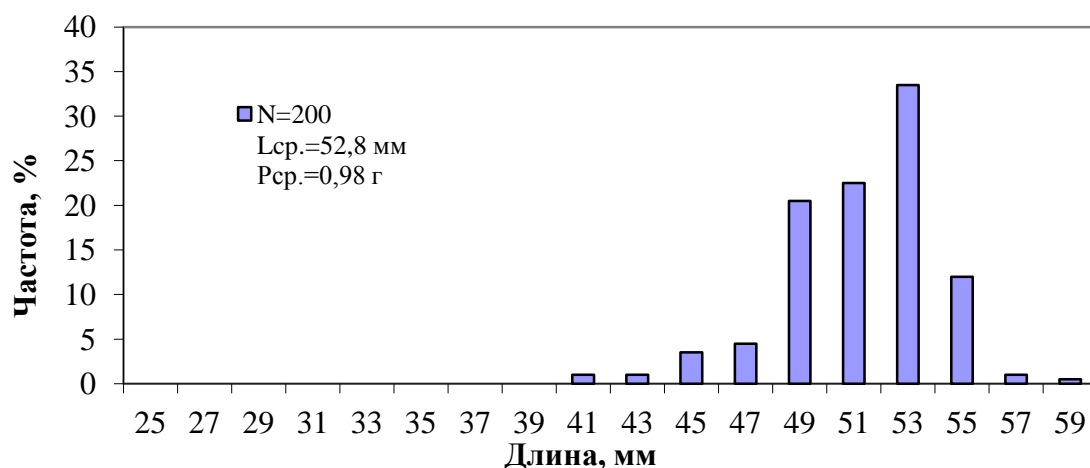


Рис. 25. Размерный состав криля у архипелага Пальмер в марте 2006 г.

Южные Шетландские острова. Результаты размерной структуры криля и его репродукционного состояния были получены на нескольких участках шельфа о-ва Ливингстон, расположенных к северо-западу, западу и юго-западу от острова над глубинами шельфа в период с 22 марта по 5 мая, и засвидетельствовали наличие двух размерных групп половозрелых особей 51-53 мм и 49-51 мм (Рисунок 26).

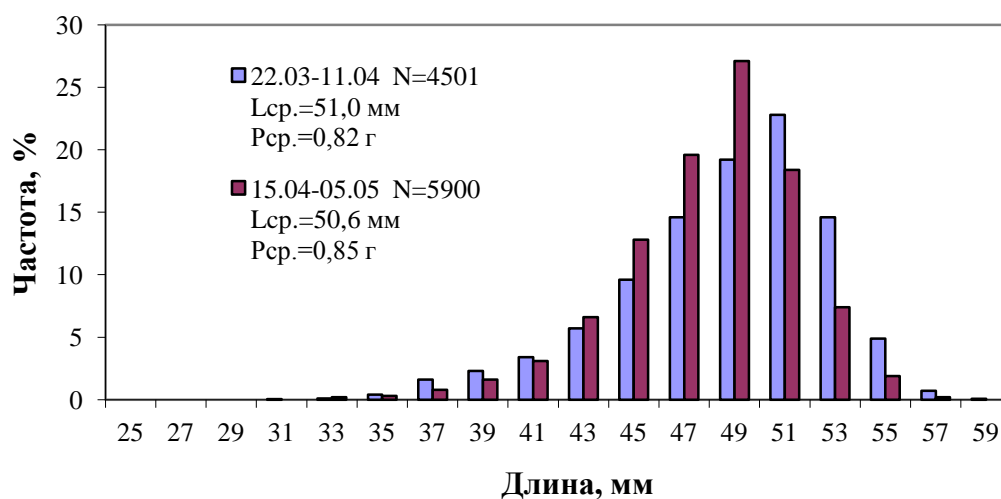


Рис. 26. Размерный состав криля у о. Ливингстон в марте-мае 2006 г.

Полученные данные позволили определить пространственно-временную изменчивость половой зрелости криля. В качестве индикатора были выбраны самки, как наиболее полно и наглядно отражающие развитие данного процесса. Показатели размерной структуры *E. superba* согласуются с её характеристикой

репродуктивного состояния и связаны с естественной смертностью, и в первую очередь самцов. Подтверждением этому служат данные наблюдений с подводного аппарата, указывающие на максимальную плотность погибшего криля в горизонте 20-90 м (60-20 экз. м³) с модальным размером 50–52 мм (Помазов, 2002).

Пролив Брансфилд. Данная акватория известна как локальный участок, где условия окружающей среды, прежде всего динамика вод, способствуют формированию промысловых агрегаций криля (Масленников, 1980; Trathan et al., 1999). В историческом промысловом плане акватория пролива не являлась значимой в подрайоне 48.1 (Murphy et al., 1997) до 2006 года. Начиная с 2001 года, здесь наблюдался сдвиг во времени проведения промысла с декабря–февраля на март–май (Kawaguchi et al., 2006). Подтверждением этого послужили результаты промысловой деятельности украинского и зарубежных судов в мае 2006 г., что позволило получить данные по размерному составу криля в проливе Брансфилд. Уловы в двух мелкомасштабных единицах управления (SSMU – 5, 6) пролива Брансфилд были самыми высокими по сравнению с предшествующими сезонами. Не ясно являлось ли такое распределение промыслового усилия результатом низкой плотности криля на традиционном промысловом участке к северу от Южных Шетландских о-вов (SC-CAMLR-XXVI/3, 2007) или частью наблюдавшихся изменений в пределах района 48 (Bibik, Bryancev, 2007).

Размерный состав криля в мае 2006 г. на акватории между 62°46'–63°07' ю.ш., 057°29'–059°59' з.д. продемонстрировал широкую вариабельность показателей, отличающихся у криля, обитающего в прибрежной зоне севернее Южных Шетландских островов. Ярко выраженной дифференциации размерных групп *E. superba* в пространстве в пределах промрайона (его протяженность в зональном направлении составила 75 миль) не наблюдалось, как это отмечено в 2001 г., когда четко прослеживалось увеличение доли мелкого криля по мере смещения промыслового судна на восток (Бибики, Губанов, 2001).

На указанной акватории нами было выделено пять групп вариационных рядов размерного состава криля, которые в той или иной мере различались между

собой. В уловах присутствовал криль длиной от 25 до 57 мм, который нами условно был обозначен пятью размерными группами (Жук, 2013).

Первая и вторая размерные группы *E. superba* представлены особями с модальными классами 33-35 мм и 39-41 мм, составившие в пробах соответственно 84 % и 60,8 % от общего количества (Рисунок 27). Первая группа присутствовала лишь в одном из ночных уловов на крайнем восточном участке в горизонте 20 м. Вторая – распределялась по всему промысловому участку, совершая суточные миграции в ночные часы к поверхности (20-40 м), а днем заглубляясь на 140-150 м.

Третья и четвертая размерные группы криля облавливались на всей указанной акватории в ночное время в горизонтах 15-70 м, в дневное – 160-210 м (3-я группа) и 140-300 м (4-я группа). Рачки третьей группы не имели четко выраженной моды (модальные размеры 41-47 мм), четвертая – наоборот, с яркой модой 45-47 мм (Рисунок 27). В этих двух группах криля доминирующими были особи V размерного класса, соответственно 56 % и 70,5 %. Для данных групп криля отмечено увеличение доли рачков VI размерного класса, составившие для третьей группы 4,1 %, для четвертой 7,7 %.

Пятая размерная группа криля в уловах была немногочисленна и имела дискретный характер распределения. Ее представители облавливались в начале работ на восточном участке в дневном улове на глубине 290 м, а затем в конце промысла на участках, расположенных к западу пролива Брансфилд. Для этой группы доля особей IV размерного класса оказалась минимальной (6,9 %), а число криля V, VI классов возросло до 79,2 и 13,9 % соответственно (Рисунок 27). Модальный класс составили особи 49-51 мм. В ночное время криль, как правило, рассеивался в толще воды в горизонте 20–100 м. С наступлением рассвета и до наступления ночи он образовывал плотные промысловые агрегации на глубинах 140-290 м.

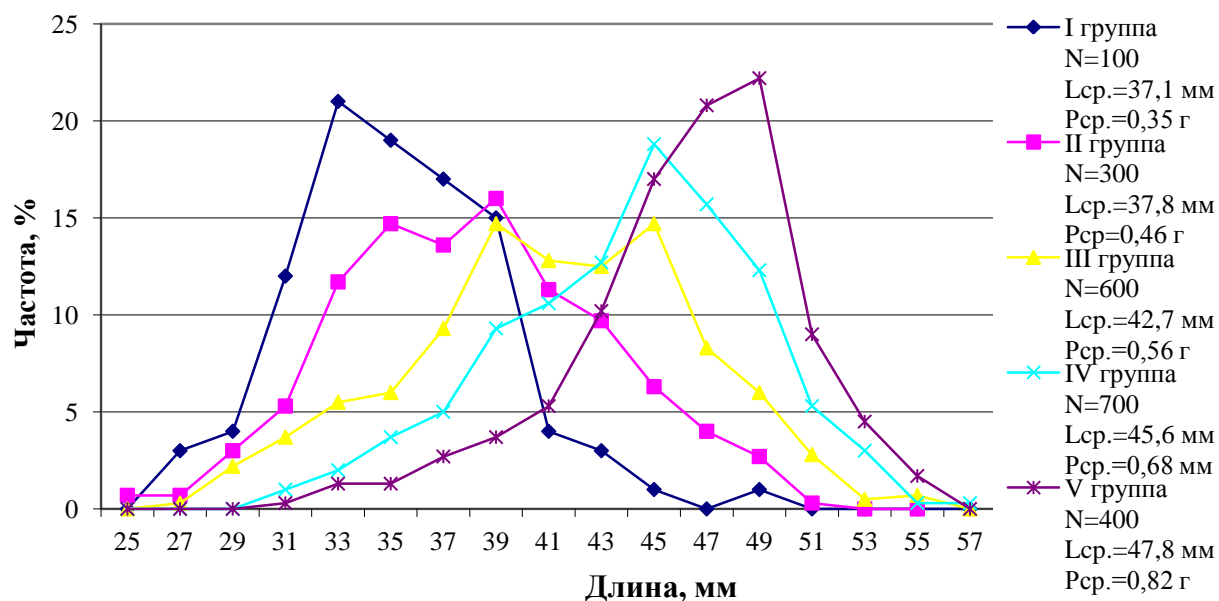


Рис. 27. Размерный состав кривых в проливе Брансфилд в мае 2006 г.

Судя по размерному составу, возраст рачков в скоплениях на промысловых участках пролива Брансфилд достигает 6+ (при максимальной длине до 61 мм). Поскольку в уловах доминируют особи длиной 40–45 мм, следовательно, основу уловов составляют рачки в возрасте 2+, 3+.

Размерный состав антарктического кривых в проливе Брансфилд в 2014–2017 гг. В работе были обобщены и представлены результаты размерного состава кривых в проливе Брансфилд за период 2014–2017 гг. Ежедневные гистограммы размерного состава кривых, полученные при работе судна на разобренных скоплениях, отличались существенной разнородностью. При ежемесячном объединении размерных рядов общая картина принимала нивелирующий результат, который был удобен при выполнении сравнения в междумесечном и годовом периодах.

В апреле–мае 2014 г. в уловах присутствовал кривых длиной 27–55 мм. Доминировала мелкоразмерная группа (46,9 %). Модальный класс представлен длиной 41,1–43,0 мм (19,3 %) (Рисунок 28).

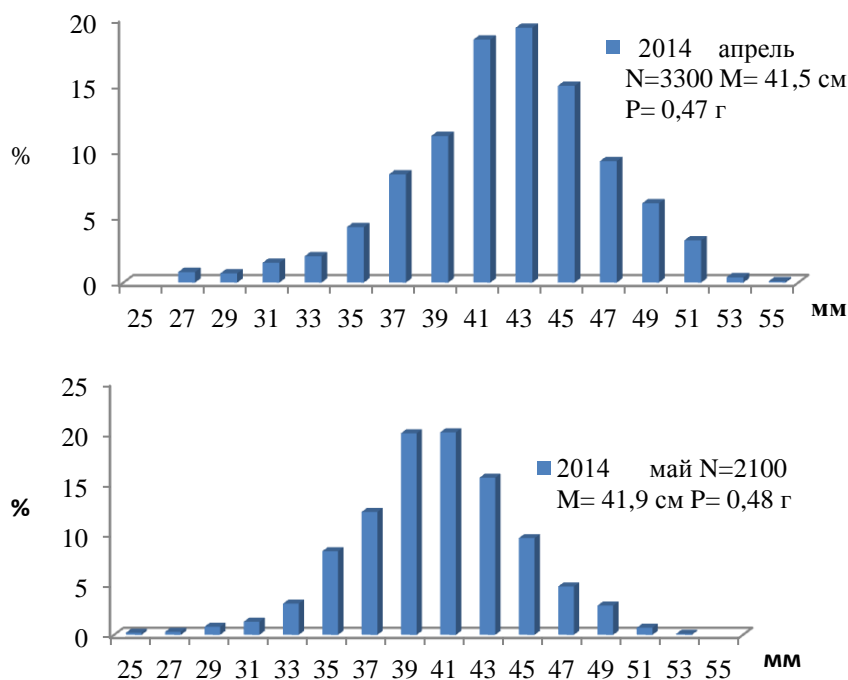


Рис. 28. Размерный состав крыля в проливе Брансфилд в апреле–мае 2014 г.

В уловах преобладал крыль возрастом 2+ и 3+ (поколения 2011–2012 гг.). Соотношение полов 1:1. Доля ювенальных особей не превышала 15,5 %. Превалировали рачки на II стадии зрелости (начальные этапы созревания) — 76 %. Крупноразмерные особи (9,7 %) находились на стадиях диапаузы (VI, VII) — 10 %. Питался крыль преимущественно фитопланктоном (70–80 %) при среднем наполнении желудков 1,4 балла.

Следует отметить произошедшую в мае смену преобладавших в апреле ветров западных румбов повторяемостью до 70 % на восточные — 60 % (см. Рисунок 15), что, вероятно, не повлияло на смену направления западного течения, переносящего скопления крыля из моря Уэдделла в пролив Брансфилд. Среднемесячные показатели длины крыля в уловах с апреля по май увеличились незначительно и связаны со смещением промысла в западном направлении (Жук, 2012).

Февраль–май 2015 г. У о. Мордвинова в феврале облавливался крупный крыль. Его длина колебалась в пределах 37–63 мм. Модальные классы представлены 51–57 мм и средним значением длины $52,3 \pm 0,08$ мм и массы 1,04 г

соответственно. Размерный состав рачков в районах островов Кинг-Джордж и Ливингстон был идентичен и занимал промежуточное положение между особями из пролива Брансфилд и о. Мордвинова. Наименьшие средние размеры криля были в проливе Брансфилд $43,1 \pm 0,02$ мм, средней массой – 0,59 г (Таблица 3).

Таблица 3

Биологические показатели антарктического криля в подрайоне Антарктического полуострова в летне-осенний период 2015 г.

Участок	Длина тела мин.-макс./сред. мм	Модаль- ный класс, мм	Ср. масса г	Преобладающие стадия зрелости, %	Балл желудка %	Средняя ТПО, °С
о. Мордвинова, февраль	37-61/52,3 \pm 0,08	53-55	1,04	♂IV, 63; ♀IV, 93	4, 88	1,79
о. Кинг-Джордж февраль	36-56/48,0 \pm 0,39	45-47	0,82	♂VI, 31; ♀VI, 35	4, 96	1,5
о. Ливингстон март	36-56/46,7 \pm 0,13	45-47	0,68	♂ II, 58; ♀ V, 33	4, 93	1,18
пр. Брансфилд февраль	30-53/43,1 \pm 0,20	43-45	0,59	♂VI, 48; ♀ VI 57	4, 91	-0,14
март	29-56/42,9 \pm 0,09	41-43	0,53	♂ II, 76; ♀ II 81	IV, 60	-0,50
апрель	24-59/43,6 \pm 0,11	41-43	0,57	♂ II, 80; ♀ II 87	IV, 38	-1,12
май	25-57/40,6 \pm 0,11	39-41	0,45	♂ II, 75 ♀ II 85	IV, 30	-1,49

Нерестовый процесс у о. Мордвинова завершился, а у островов Кинг-Джордж и Ливингстон активно протекал. Соотношение полов у криля на всех участках было равное 1:1, за исключением пролива Брансфилд, где количество самок в марте было в полтора раза больше самцов. Большинство особей находились на IV–VI стадии зрелости. Криль активно питался водорослями, большинство желудков имели 4 балла.

Отличия в распределении размерного состава криля на различных промучастках были связаны с наличием значений ТПО. Так в районе о.

Мордвинова этот показатель составил 1,5-2,2 °С / средний 1,79 °С, у о. Кинг-Джордж 1,5 °С, у о. Ливингстон 0,8-1,6 °С /1,18 °С, а в проливе Брансфилд в феврале в интервале минус 0,4 °С – 0,1 °С / минус 0,14 °С

В проливе Брансфилд в марте–мае размерный состав криля имел разнокачественные размерные группы с мономодальными кривыми (Рисунок 29).

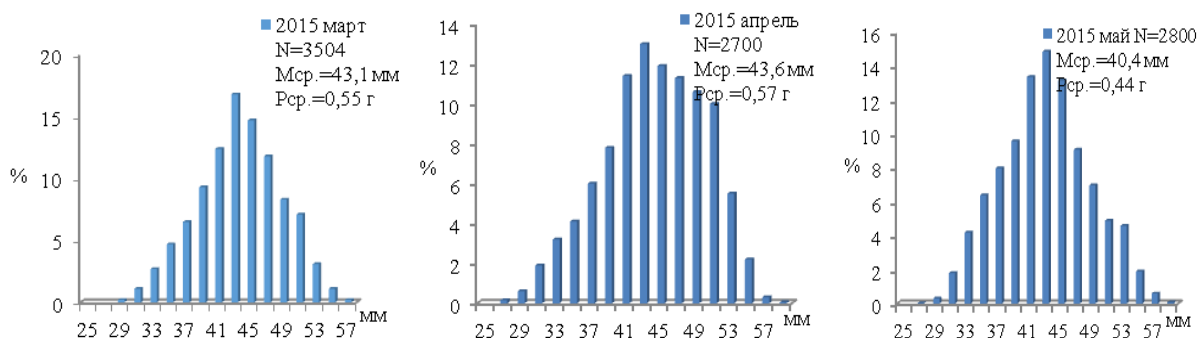


Рис. 29. Размерный состав криля в проливе Брансфилд в марте–мае 2015 г.

Длина особей колебалась от 27 до 57 мм с модальным классом в марте и апреле 41,1–43,0 мм (16,8–13,0 %), при средних значениях длины и массы 43,1–43,6 мм и 0,55–0,57 г. Доминировала среднеразмерная группа (43,3 %), возрастом 3+. Молодь и крупный криль составляли 36,9 и 19,8 % соответственно. Соотношение самок и самцов 3:2. Преобладали рачки на II стадии созревания половых продуктов (78,6 %), активно питавшиеся фитопланктоном (2,9 балла).

В мае размерная структура криля оказалась разнородной, и в целом ее значения были меньше, чем в марте, апреле, что было обусловлено устойчивыми и продолжительными восточными ветрами, сменившими западные, усилив влияние Уэдделломорских вод. Они способствовали массовому пополнению молодь, длина и масса которой в конце месяца оказалась меньше отмеченных в предыдущих двух декадах мая; значения средней длины и массы рачков уменьшились с 41,4 мм и 0,48 г до 38,9 мм и 0,37 г. Доля молоди криля возросла от 52,0 % до 61,5 %, а крупноразмерного уменьшилась до 10,2 % против 16,4 %.

По-прежнему доминировали особи с половыми продуктами на II стадии созревания (80,0 %) при равном соотношении полов. Заметно понизилась активность питания рачков: с 2,1 балла в первой половине мая до 1,4 балла в

конце месяца. Снижение питания криля не повлияло на уловы в сторону их уменьшение.

В марте–мае 2016 г. на промысловых участках пролива Брансфилд облавливался крупноразмерный криль, который не наблюдался в предыдущие два года. В уловах присутствовали особи длиной 27–61 мм. В марте их средняя длина и масса равнялись 47,9 мм и 0,8 г (Рисунок 30).

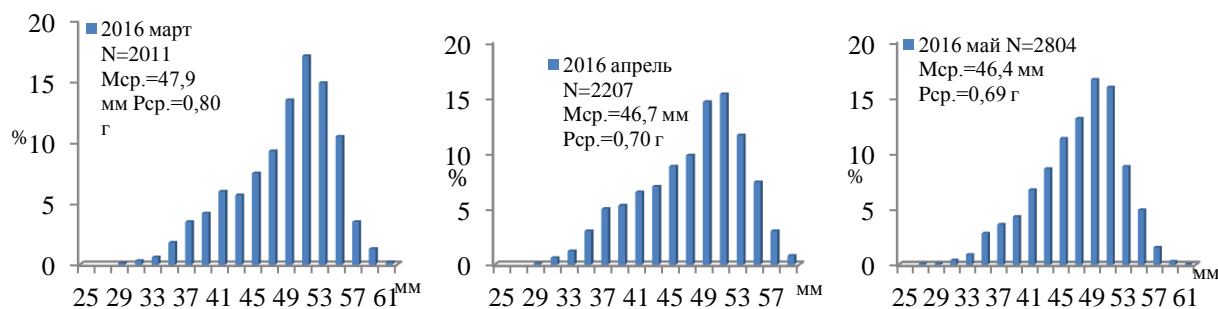


Рис. 30. Размерный состав криля в проливе Брансфилд в марте–мае 2016 г.

Превалировал крупноразмерный криль (71,4 %) возрастом 4+, 5+, молодь в отдельных уловах составляла до 3,6 %. Модальный класс представлен 49,1–51,0 мм (17,1 %). Соотношение полов 1:1. Гонады 54,4 % самок и самцов находились на V и VI стадии зрелости, что свидетельствовало о завершении нереста в феврале. Хорошее состояние кормовой базы и высокое наполнение желудков в среднем 3,3 балла обеспечивалось за счет фитопланктона, на что указывал светло-зеленый цвет печени.

В апреле–мае наблюдалось небольшое уменьшение средних значений длины и массы рачков до 46,7–46,4 мм и 0,7–0,69 г (Рисунок 30), предопределенное, по нашему мнению, естественной гибелью крупных особей обоих полов. Соотношение самок к самцам оставалось без изменения. Модальный класс в апреле не претерпел модификаций, но в мае уменьшился до значения 47,1–49,0 мм (16,6 %). При этом происходило понижение доли крупного криля до 48,0 % и одновременно возрастало количество молоди (18,9 %). Увеличилось количество ювенальных рачков до 13,4 %, сократилось число самок в апреле с гонадами на V стадии зрелости до 4,4 % и на стадии диапаузы (VI) для самок и

самцов, соответственно, 9,7 и 7,8 %. При этом количество криля впервые и повторно созревающих с гонадами на II стадии зрелости было доминирующим в апреле 59,8 %, в мае – 83,3 %.

В питании криля на протяжении апреля–мая зарегистрированы изменения качественного и количественного характера. В желудках в первой половине апреля преобладал фитопланктон с небольшой долей зоопланктона. Средний балл питания в этот период равнялся 2,9. Во второй половине месяца в пищевом рационе криля стал доминировать зоопланктон с малой долей фитопланктона. Изменение качественного состава отразилось на интенсивности питания рачков в сторону уменьшения, составив в среднем 2,1 балла. В мае наполнение желудков понизилось до 1,3 балла. Пищевой рацион состоял в основном из зоопланктона, гораздо меньше — фитопланктона, отчасти детрита.

Март–июнь 2017 г. размерная структура криля существенно отличалась от предшествующих трех лет. В марте в уловах присутствовали рачки длиной 27–59 мм с модальным классом 35,1–37,0 мм. Количество молоди было максимально (61,3 %), а крупных особей — минимально (17,3 %). Средняя длина и масса криля равнялись 40,6 мм и 0,48 г (Рисунок 31).

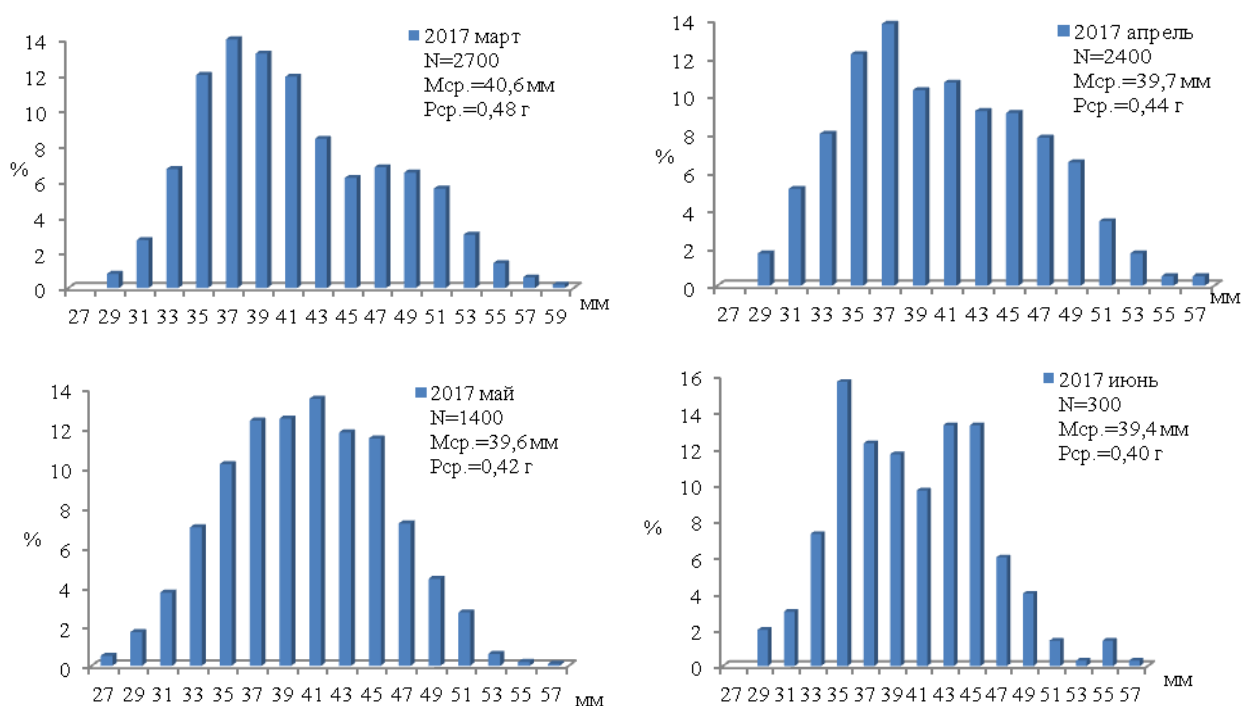


Рис. 31. Размерный состав криля в проливе Брансфилд в марте–июне 2017 г.

Соотношение полов в марте–июне было почти равное. В силу того, что в уловах доминировала молодь, генеративная структура самок (52,9 %) и самцов (44,3 %) находилась на ювенальной I стадии зрелости. Только небольшое количество самок (11,8 %) и самцов (7,6 %) было на стадии диапаузы (VI). Количество нерестовых особей (IV стадия зрелости) обоих полов было минимально (0,8 %). В результате продолжающейся летней сукцессии кормовая база в полной мере удовлетворяла питание криля, о чем свидетельствовал высокий балл наполнения желудков — в среднем 3,2 балла.

Таким образом, состояние половых продуктов зрелого криля свидетельствовало о завершение нереста на восточных участках пролива Брансфилд в начале февраля 2017 г.

В апреле–мае средняя длина и масса криля были идентичны (Рисунок 28). Преобладание рачков мелкоразмерной группы 61,8–61,5 % сохранялось и в июне. Модальный класс в апреле представлен особями 35,1–37,0 мм (13,8 %), в мае 39,1–41,0 мм (13,5 %). Количество средне- и крупноразмерного криля колебалось в интервале 26,1–30,5 % и 12,6–8,0 % соответственно. В апреле превалировали ювенальные особи (49,0 %), в мае — впервые и повторно созревающие (59,8 %).

Прохождение пика развития фитопланктона в марте–апреле, наблюдавшееся в антарктических шельфовых водах, обусловило понижение его количества до олиготрофного уровня. Присутствие мелких клеток фитопланктона, в основном *Flagellata* и криптомонадовых (*Hillea fusiformis*) (Кузьменко, 2004), сделало их недоступными для криля, что привело к снижению интенсивности питания (1,1 балла) и видоизменению его спектра. В дневные часы в горизонтах 12–40 м пища состояла из фитопланктона (70–80 %), в полночь на горизонтах 50–70 м — зоопланктона (80–90 %). В мае произошло изменение спектра питания рачков, в результате чего зоопланктон (60–80 %) стал доминировать над фитопланктоном.

В июне 2017 г. данные по биологии криля были получены на северо-западной акватории пролива, расположенной в 10 милях к юго-востоку от острова Десепшен. Здесь ТПО достигала критических значений (минус 2,1 °С), содействовавших образованию молодого блинчатого льда, а система течений

определила поступление с востока значительного поля льда и увеличения контраста различий водных масс в проливе.

В июне в уловах на промучастках, вследствие слияния вод южной периферии АЦТ и моря Уэдделла, наблюдалась разнообразность размерных групп криля, имевших полимодальную кривую (см. Рисунок 28, июнь). Первая группа — неполовозрелая молодь с модальным классом 33,1–35,0 мм (15,7 %), привнесенная с востока уэдделломорскими водами. Вторая группа — половозрелые рачки с модальным классом 41,1–45,0 мм (в сумме 26,6 %) в равном соотношении, поступившие с запада из моря Беллинсгаузена.

Соотношение полов, несмотря на пестроту размерного состава, осталось практически без изменений (1:1): доля самок была 52,3 %, самцов 47,7 %. Генеративная характеристика представлена доминированием рачков с гонадами на II стадии (67,3 %) при сохранении значительной доли ювенальных особей (32,7 %) и отсутствии рачков на стадии диапаузы.

Питание криля с наступлением зимы претерпело изменения из-за дальнейшего снижения концентрации биогенных элементов, освещенности, понижения температуры воды до минимальных значений минус 2,1 °C. Это привело к смене видового состава фитопланктона, среднего размера клеток и переходу к следующей стадии сукцессии. Присутствие Уэдделломорских вод, как олиготрофных, где фитопланктон был представлен мелкими клетками жгутиковых, криптомонадовых водорослей и крупными клетками диатомей (Кузьменко, 2004), отражало низкий уровень его количественного развития. В результате содержание кормовых объектов явилось недостаточным и отрицательно сказалось на обеспеченности кормами (20 %), при среднем наполнении желудков 0,8 балла. Криль питался в верхнем фотическом слое гомотермии (минус 2,0 °C), где доля зоопланктона была 80–90 %, а фитопланктона не превышала 10–20 %. Наблюдался минимум питания (0,5 балла) ночью (21:00–22:00) и максимум (1,3 балла) в утреннее время (8:00–9:30).

Особое внимание было уделено пространственному распределению размерного состава криля в сезон 2017 г., которое четко засвидетельствовало его

дискретный характер и привязанность к определенным водным массам. Эти данные были затем использованы в расчете биомассы криля в сезон 2017 г. на шести промысловых участках.

В феврале–июне 2017 г. промысел криля велся на шести дискретных промысловых участках со сложной орографией морского дна.

Участок 1 располагался на востоке пролива Брансфилд и к северу острова Д'Юрвиль. В период 28 февраля – 24 марта криль в уловах представлен особями длиной 27–55 мм. Модальный класс рачков 33–35 мм (12,6 %), средние значения длины и массы равны 39,2 мм и 0,44 г (Рисунок 32). В уловах присутствовало значительное количество неполовозрелого криля — группа пополнения, особи до 41,0 мм (63,7 %).

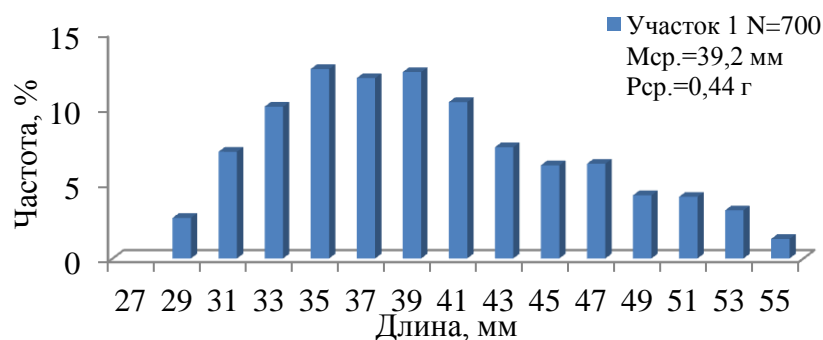


Рис. 32. Размерный состав криля на промысловом участке 1.

Участок 2 располагался к северо-западу от острова Д'Юрвиль. В период 13 марта – 18 апреля в уловах по-прежнему наличествует высокая доля неполовозрелого криля (66,0 %) с модой 35–37 мм (14,7 %). Средние значения длины и массы криля были 39,7 мм и 0,45 г (Рисунок 33).

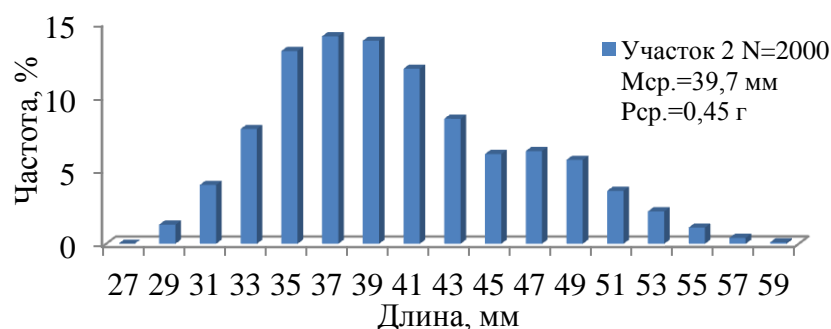


Рис. 33. Размерный состав криля на промысловом участке 2.

Участок 3 — традиционный участок промысла, расположенный на центральной акватории пролива Брансфилд и выполнялся в период с 5 марта по 2 мая. В размерной структуре доминировали неполовозрелый особи до 58,6 %. Наметился незначительный рост рачков в среднеразмерной группе (41,1–47,0 мм) до 29,2 %. Модальный класс криля оставалась без изменений и представлен длиной 35–37 мм (13,3 %) со средней длиной и массой 40,1 мм и 0,45 г (Рисунок 34).

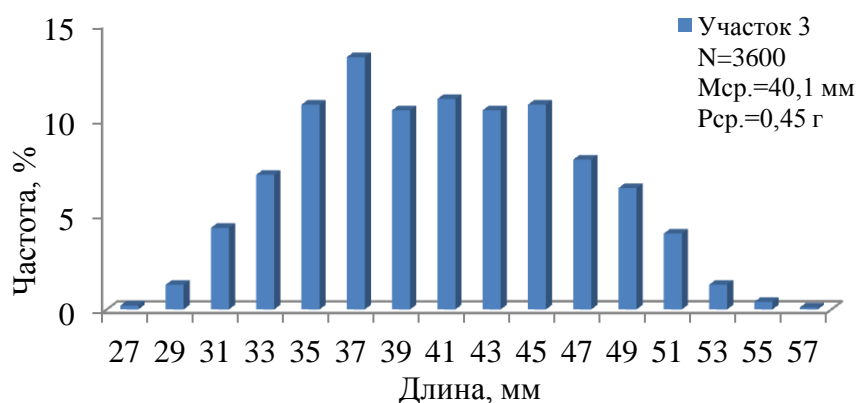


Рис. 34. Размерный состав криля на промысловом участке 3.

Участок 4. Промысловые и научные работы выполнялись с 3 мая по 7 июня на акватории к востоку от острова Тринити, что на юго-западе пролива. В размерном составе криля отмечена тенденция роста количества особей средней группы (43,7 %) и уменьшение молоди до 37,3 %. Впервые модальный класс представлен рачками 43–45 мм (16,8 %), что определило увеличение их средней длины и массы 42,5 мм и 0,53 г, соответственно (Рисунок 35).

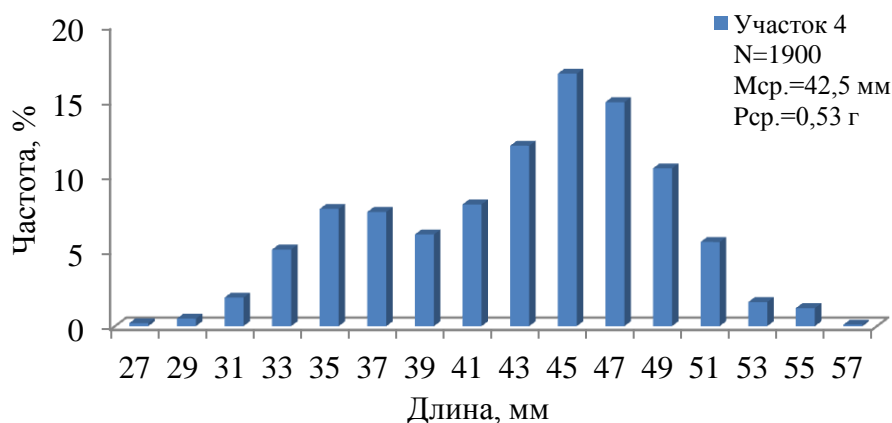


Рис. 35. Размерный состав криля на промысловом участке 4.

Участок 5. Данный промысловый участок располагался к северо-западу и западу о-ва Сноу, включая пролив Бойд. Лов криля велся дважды с перерывами в период с 14 мая по 15 июня. Промучасток оказался привлекательным для выпуска пищевой продукции благодаря размерной структуре криля, способствовавшей высокому выходу бланшированного мяса из криля-сырца. Рачки имели длину 33–57 мм с максимальным модальным классом 45–47 мм (18,1 %) и средним значением длины 46,5 мм и массы и 0,67 г (Рисунок 36). Среднеразмерная группа была доминирующей (45,1 %), в том числе крупноразмерными особями (47,1–57,0 мм) в значительном количестве (41,8 %), но с малой долей молоди (13,1 %).

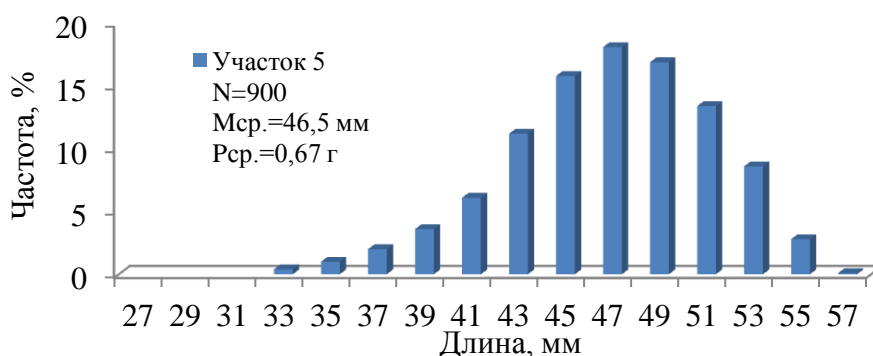


Рис. 36. Размерный состав криля на промысловом участке 5.

Участок 6. Промысловые работы велись на акватории расположенной в 10 милях к юго-востоку от о-ва Десепшен с перерывами с 25 мая по 20 июня и были завершены из-за сложной ледовой обстановки — покрытия акватории пролива Брансфилд обширными полями шуги и молодого блинчатого льда. Полученные здесь данные размерного состава криля позволили проследить влияние уэдделломорских вод (ТПО минус 2,1 °С) на их распространение вдоль пролива Брансфилд в западном направлении вплоть до 60–61° з.д.

Размерная структура рачков имела полимодальную кривую с двумя пиками: первый — в классе 33,1–35,0 мм (11,6 %), второй — 43,1–45,0 мм (16,3 %). Средние значения длины и массы криля равны 40,6 мм и 0,46 г (Рисунок 37). Одновременное присутствие значительной доли неполовозрелого криля (51,1 %)

наряду с половозрелым (49,9 %) свидетельствовало о наличии здесь двух водных масс. Поступление в пролив крупных особей с водами АЦТ из моря Беллинсгаузена, а мелких — с водными массами из моря Уэдделла (Латогурский и др., 1990; Артамонов и др., 2003).

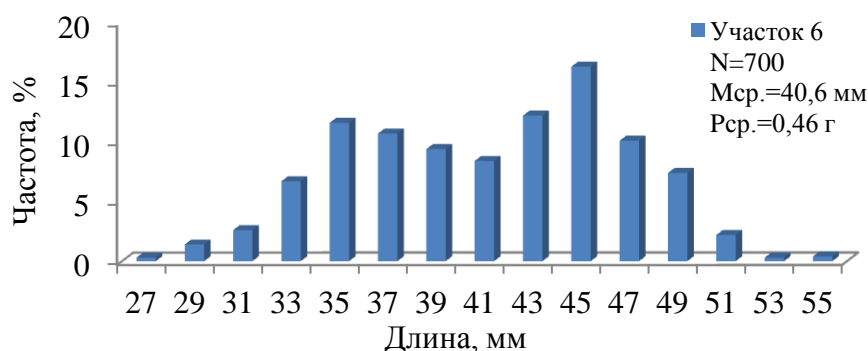


Рис. 37. Размерный состав криля на промысловом участке 6.

Таким образом, размерный состав криля имел как пространственную, так и временную вариабельность. Их мезомасштабная дискретность во многом обуславливалась влиянием водных масс, поступающие из разных направлений как из моря Беллинсгаузена, так и моря Уэдделла и приуроченностью к ним.

При выполнении промысловых работ в траловых уловах в проливе Брансфилд в 2010, 2013–2016 гг. отмечены единичные случаи массового присутствия сальп (*Salpa thompsoni* Foxton). В районах скоплений биомасса сальп может достигать более 10 г/м³ (Самышев, 2000). Поскольку Южная ветвь АЦТ представляет собой сильно меандрирующий поток, разделяющий относительно тёплые малосолёные вихревые образования моря Скотия и холодные высокосолёные вихревые образования моря Уэдделла, формируя в этой зоне особые локальные гидрологические условия для высокой концентрации антарктического криля, включая скопление сальп.

Их обилие, как правило, тяготело к линзам океанических водных масс, приуроченных к антициклоническим вихрям с повышенным значением температуры воды, нежели близлежащим водам (Рисунок 38). Именно мезомасштабные изменения центральной части пролива Брансфилд создают

предпосылки к формированию линз теплых вод, проникающих с юга от Южных Шетландских островов на север акватории пролива, достигая размеров порядка $\times 10$ км (Sangra et al., 2011), в которых высока вероятность нахождения сальп.

Питаясь исключительно водорослями, сальпы формируют пищевую конкуренцию крилю и, имея высокую плотность (Аннинский, Щепкина, 2003), резко снижают удельную биомассу криля. Поэтому в случае поимки туникат вместе с крилем, судно оставляет такую акваторию.

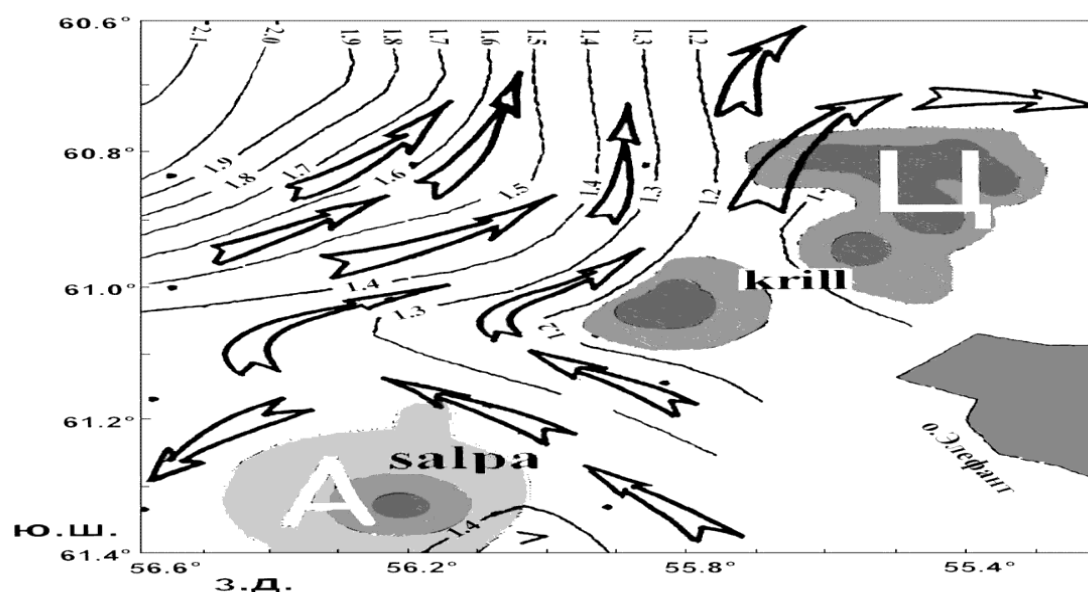


Рис. 38. Циркуляция и температура воды на поверхности, а также ядра скоплений криля и сальп у острова Мордвинов в марте 1988 г.

Обсуждение. Для проверки значимости различий длины криля пяти размерно-возрастных групп в проливе Брансфилд в мае 2006 г. были рассчитаны описательные статистики (Правдин, 1966; Урбах, 1975) и выполнен классический двусторонний тест Стьюдента, что позволило при определенном уровне значимости исследований доказать существенность различий или их отсутствие. Расчет описательных статистик выполнен для дискретизированных рядов криля с шагом 1 мм (Таблица 4).

Таблица 4

Результаты расчета описательных статистик антарктического криля в проливе Брансфилд в мае 2006 г.

Размерные группы	M Средняя длина, мм	s Стандартное отклонение	Mo Модальный класс	N Кол-во особей в выборке	Se Стандартная ошибка
I группа	35,28	15,44	33	100	1,54
II группа	38,16	25,05	39	300	1,45
III группа	41,113	29,73	39	600	1,21
IV группа	44,04	23,49	45	700	0,89
V группа	46,21	18,696	49	400	0,93

Таблица 5

Результаты выполнения теста Стьюдента для групп антарктического криля в проливе Брансфилд в мае 2006 г., значения вероятностей теста, p

Размерные группы	I	II	III	IV	V
I	NA				
II	0.174	NA			
III	0.0032	0.118	NA		
IV	0.00000201	0.00057	0.0518	NA	
V	8.03E-09	0.00000373	0.000909	0.102	NA

При помощи теста Стьюдента проверялась нулевая гипотеза H_0 , которая гласит о том, что различия между средними значениями в выборке — не значимы. Альтернативная гипотеза — различия между средними значениями не может быть объяснена случайностью. При биологическом уровне значимости статистических исследований $\alpha=0,05$ нулевая гипотеза принимается в случае, если значение вероятности теста $p > 0,05$, в обратном случае ($p < 0,05$) — принимается альтернативная гипотеза, т. е. значение больше 0,05 — различия не доказаны, если меньше 0,05 — различия доказаны.

По результатам теста Стьюдента различия доказаны между I–III, I–IV, I–V,

II–IV, II–V, III–V районами. Различия в длинах между соседними I–II, II–III, III–IV, IV–V группами объясняются статистической случайностью.

Столь важное подтверждение о существовании на акватории пролива Брансфилд многообразия размерных групп криля становится очевидным благодаря сложной мозаичной структуре водных масс и влиянию на ее динамику атмосферной циркуляции.

Для проверки наличия связи между гидрометеорологическими факторами с биологическим состоянием криля, включая успешность промысла в подрайоне Антарктического полуострова (Таблица 6), выполнен статистический корреляционный тест Пирсона (Becker et al., 1988). Достоверность полученных оценок коэффициентов проверена на уровне статистической значимости $\alpha=0,05$ и показана на рисунке 39.

Согласно шкале Чеддока, результаты корреляционного теста свидетельствуют о выявленной заметной положительной связи между интенсивностью влияния западных ветров и модальной длины криля в сезоны 2006 и 2016 гг. включая увеличение уловов на один час траления, которая имеет умеренную степень выраженности ($r= 0,61$). При этом выявлено присутствие существенной отрицательной связи ($r=$ минус $0,59$) между воздействием интенсивности увеличения восточных ветров на уменьшение средней длины криля и уловов в 2014, 2015, 2017 гг.

Иными словами, приращивание одного признака приводит к уменьшению другого – а именно, чем интенсивней восточные ветра, тем ниже средняя длина криля. Достоверность этих связей доказана на уровне значимости $\alpha = 0,05$ вероятностным тестом (p-критерием). Связь между другими параметрами не доказана

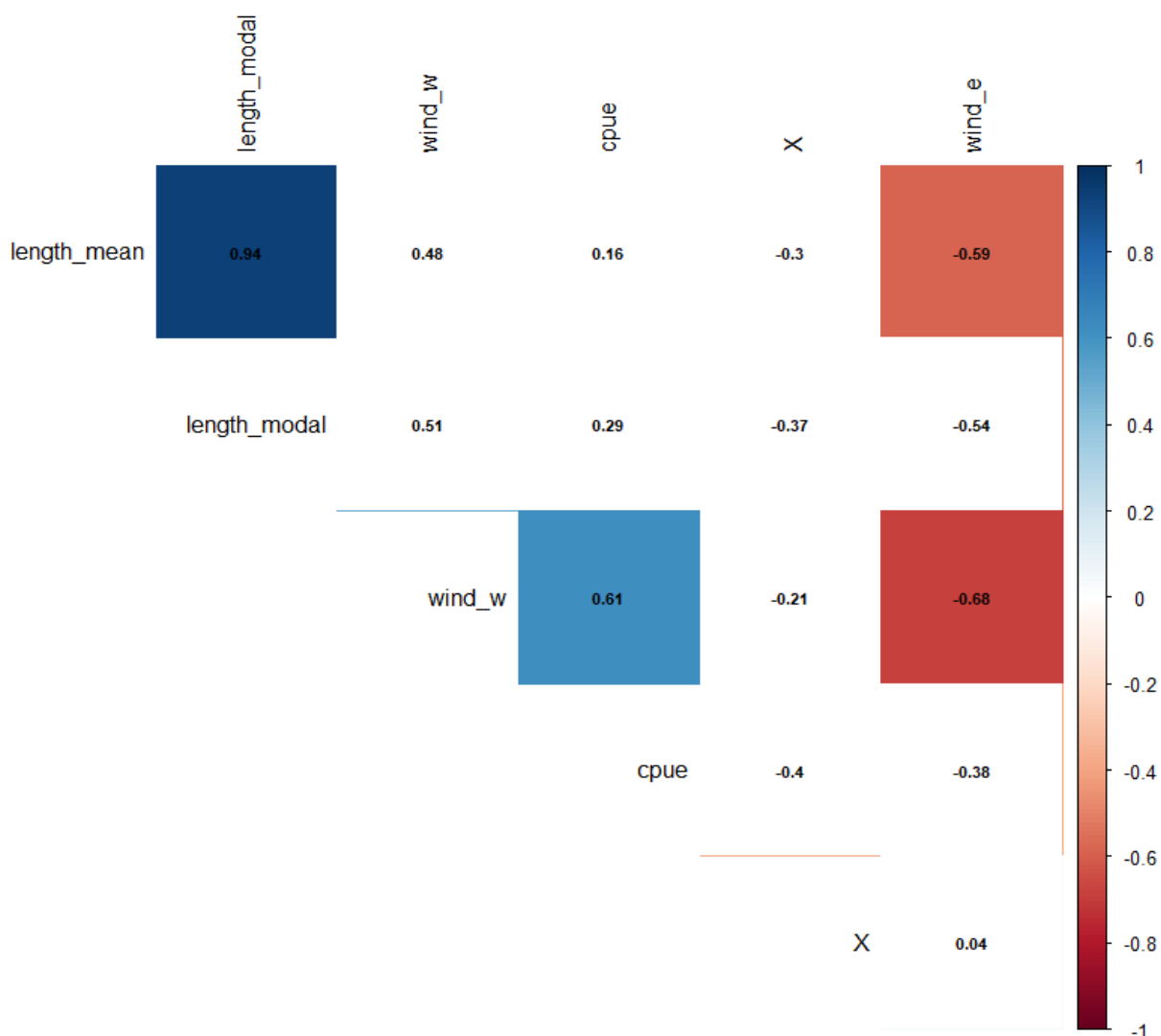


Рис. 39. Результаты корреляционного теста Пирсона на наличие связи между гидрометеорологическими параметрами среды и условиями промысла

Обозначения:

length_modal — модальная длина криля в уловах, length_mean — средняя длина криля в уловах, wind_w — интенсивность западного ветра, wind_e — интенсивность восточного ветра, cpue — улов криля на один час промысла.

Цветом отмечены пересечения факторов, связь которых доказана на уровне значимости $\alpha=0,05$.

Таблица 6

Гидрометеорологические и промыслово-биологические данные в подрайоне 48.1 в период 2006, 2014–2017 гг.

Показатели		Т воздуха, °С			Т воды, °С			V ветра, м/с			Р, мм	Ветры направления, %		Средняя длина, мм	Модальный класс, мм	Улов на час, т
Годы	Месяцы	мин	макс	сред	мин	макс	сред	мин	макс	сред	сред	W	O			
2006	май	-9,4	1,2	-2,4	-1,8	-1,3	-1,5	1,4	18,9	10,2	978	71,4	7,6	43,2	45-47	22,9
2014	апрель	-6,1	1,6	-1,4	-1,9	-0,2	-1,6	0,2	22,3	6,7	999	33,9	14,9	41,5	41-43	8,3
	май	-7,8	0,3	-3	-2	-1,3	-1,7	0,2	25	7,2	997	14,9	36,5	41,9	41-43	7,9
2015	март	-3,4	4,4	0	-1,1	0,8	-0,5	0,2	27	8,3	988	35,3	18,7	43,1	41-43	9,5
	апрель	-5	2,6	-1,3	-1,5	-0,4	-1,1	0,1	22,2	7,1	990	33,5	21,8	43,6	41-43	9,5
	май	-6,2	2,1	-2,1	-2	-0,8	-1,6	0,2	30	7,6	992	48,8	19,2	42,4	41-43	8,9
2016	март	-2,7	2,9	0,2	-1,1	-0,3	-0,7	0	21	8,7	987	42,2	9,9	47,9	49-51	8,8
	апрель	-15	1,8	-3,3	-1,8	0,1	-1,3	0,5	25,3	11	986	47,5	5	46,7	49-51	6,6
	май	-9,5	-1,1	-2,8	-1,9	-0,8	-1,8	0,5	24,7	10,3	1003	68,1	4,1	46,4	49-51	13,8
2017	март	-3,9	3,1	0,2	-1,7	0,4	-1	0,1	23	8	1004	38,4	5,8	40,6	35-37	8,4
	апрель	-11	2,1	-2,4	-1,8	-0,1	-1,3	0,2	23	9,3	996	51,1	26,2	39,7	35-37	7
	май	-11	0,3	-3	-2	-0,3	-1,5	0,4	24,5	9,2	993	22,5	26,8	39,6	39-41	8,1
	июнь	-9,9	-0,3	-3,8	-2,1	-0,5	-1,5	0,3	37	9	995	15,6	22	39,4	35-37	9,95

В 2006 г. и особенно в 2016 г. устойчивые западные ветры усиливали влияние южной ветви АЦТ и влияние вод моря Беллинсгаузена, способствовавших выносу значительного количества крупного половозрелого криля в пролив Брансфилд (Рисунок 40).

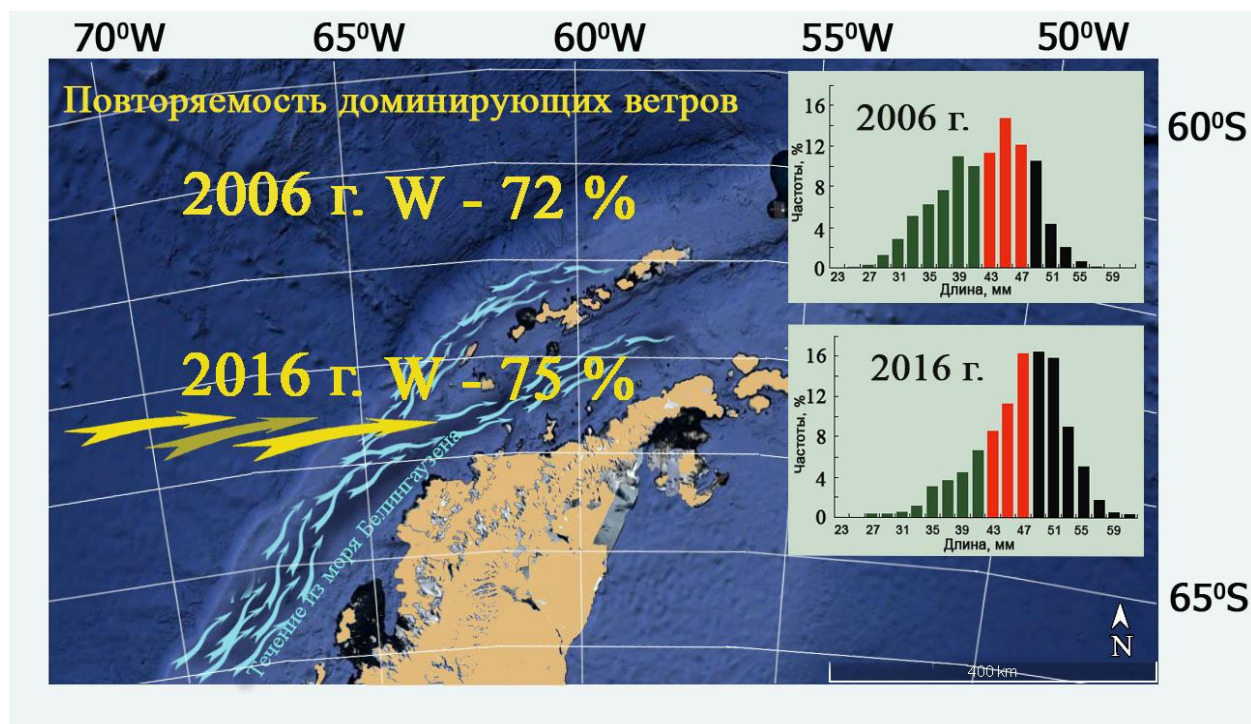


Рис. 40. Доминирование ветров западных румбов в 2006 и 2016 гг. и связанная с ними размерная структура криля.

Обособлено выделяются промысловые сезоны 2014, 2015, 2017 гг. (март–июнь) с зональным типом атмосферной циркуляции и преобладанием ветров западных румбов с трендом увеличения повторяемости восточных ветров. Сложившаяся синоптическая ситуация по всей видимости содействовала притоку молоди криля из моря Уэдделла в пролив Брансфилд (Рисунок 41).

Схема течений данного региона (Афанасьев, Масленников, 1983; Булгаков и др., 2001; Артамонов, 2002; Артамонов и др., 2003) подтвердила, что воды моря Уэдделла, имея скорость около 10 см/с, обильно выносят молодь криля в Южную ветвь АЦТ в 2014, 2015, 2017 гг., затем — на восток в район Южных Оркнейских островов, вплоть до острова Южная Георгия. Представляется, что на локальных

участках над склоном формируются циклонические вихревые зоны, к которым и приурочены довольно плотные скопления криля (Ichii et al., 1998).

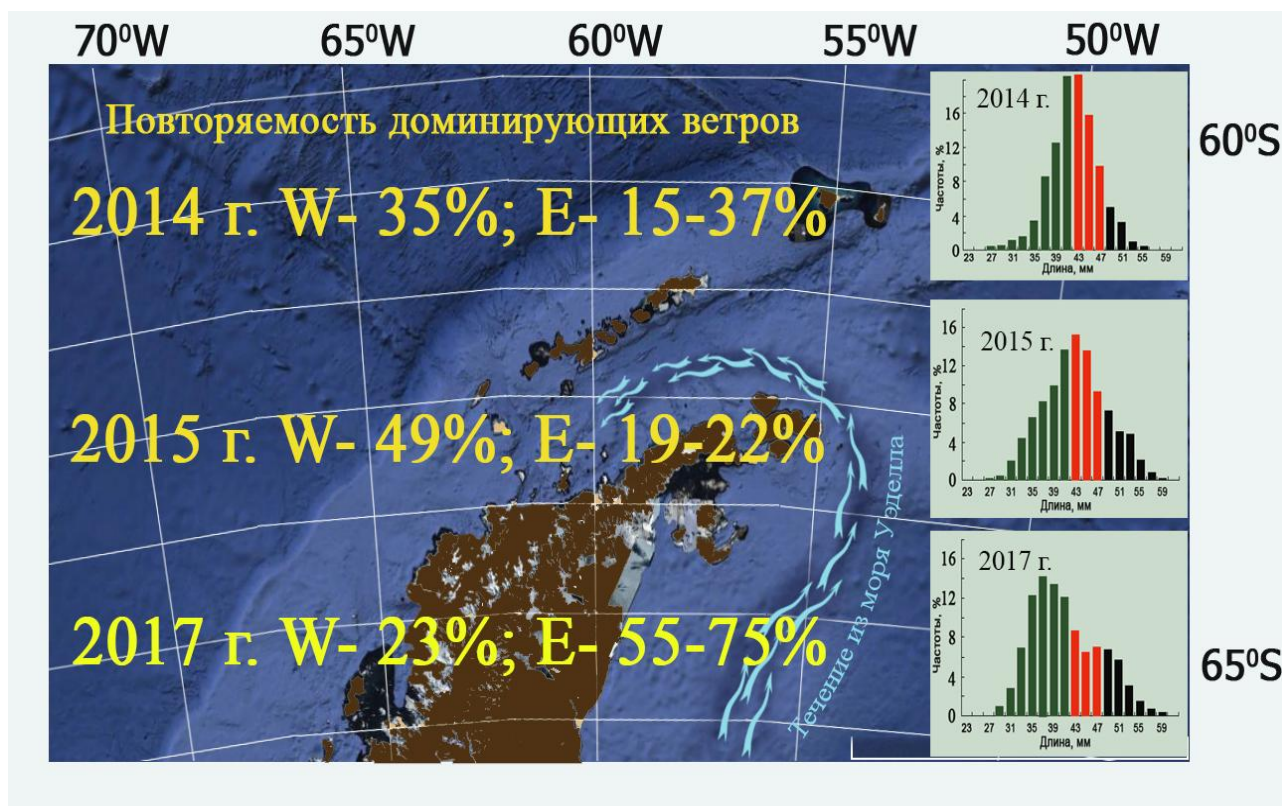
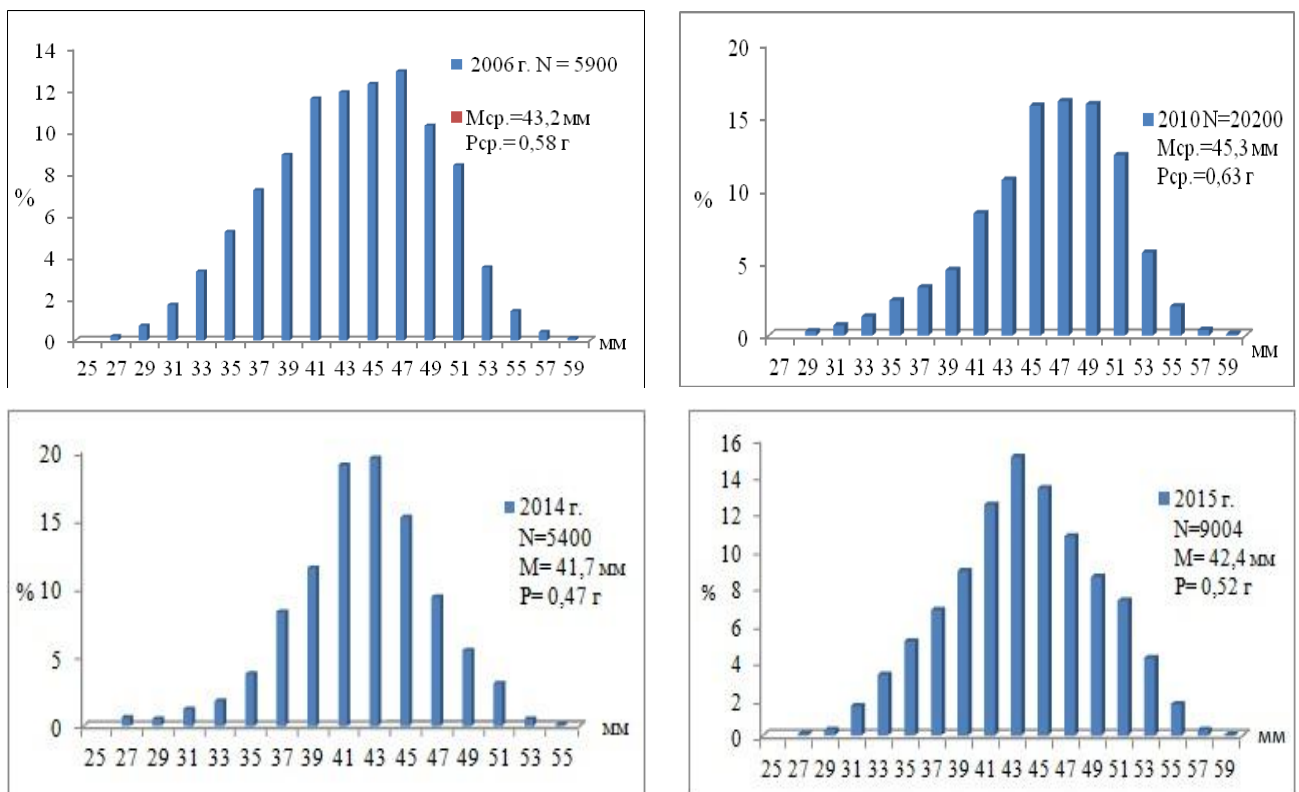


Рис. 41. Увеличение повторяемости ветров восточных румбов в сезоны 2014/15/17 гг. и наличие размерной структуры криля.

Сопоставляя размерный состав рачков уэдделломорского происхождения в проливе Брансфилд с рачками за его пределами, привнесенными водами АЦТ, указывает о наличии существенного различия их размерного состава. Оно содержит большее количество размерно-возрастных групп, которые интерпретируют как отдельные поколения в популяции *E. superba*. Анализ многолетних материалов межгодовой изменчивости размерного состава криля в контексте его приверженности к достаточно самостоятельным водам, а также факт, что в каждой из них обитают молодь и половозрелые особи, указывает о присутствии здесь отдельных субпопуляций.

Таким образом, наличие крупноразмерного криля, его массовое поступление и распространение в прибрежных водах Антарктического полуострова связано с

влиянием Южной ветви АЦТ под воздействием устойчивого зонального типа атмосферной циркуляции с абсолютным доминированием ветров западных румбов. Осеннее пополнение мелкоразмерных рачков в пролив Брансфилд происходит за счет отклонения и усиления Западного течения Уэдделловского круговорота при зональном типе атмосферной циркуляции, но с повышением повторяемости ветров восточных румбов. Анализ размерной структуры криля в скоплениях в подрайоне Антарктического полуострова в период 1991–2017 гг. отчетливо показал наличие межгодовой динамики модальных классов в разные годы, варьирувавшие от 37 до 45 мм (Рисунок 42, Таблица 6). Эти изменения размерного состава криля, как мы видим, приурочены к меняющимся мезомасштабным процессам в районе Антарктического полуострова (Turner et al., 2005), определенные региональной атмосферной циркуляцией (Van Lipzig et al., 2004).



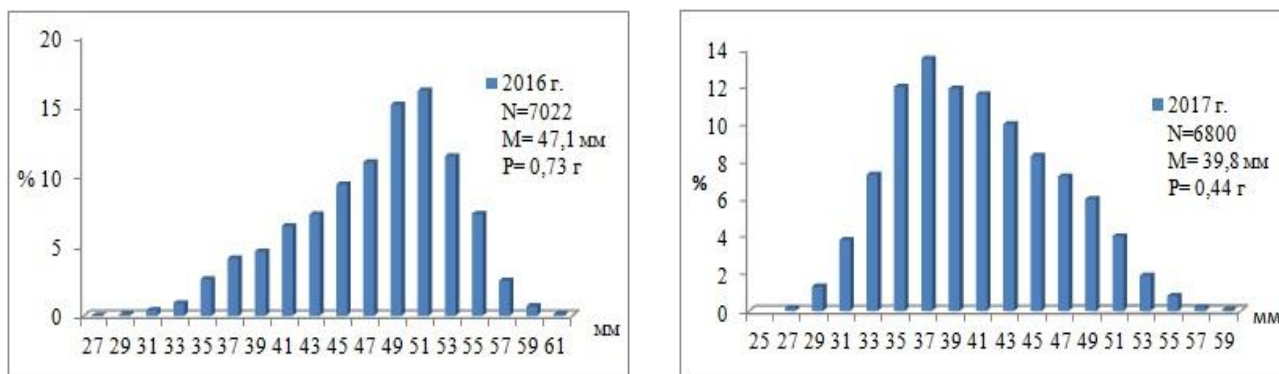


Рис. 42. Межгодовая изменчивость размерного состава криля в подрайоне Антарктического полуострова в период 2006–2017 гг. (с перерывами).

Таблица 6

Показатели длины тела антарктического криля в проливе Брансфилд

Годы	Макс./мин, мм	Модальный класс	Кол-во, экз.	Источник
1991	25/49	41	1000	Архив ЮгНИРО
1997	27/61	43	14644	
1998	27/55	41	19977	
1999	37/57	45	9012	
2004	29/55	41	7500	Жук, 2013
2006	25/57	45	2100	Жук, 2011/2012
2013	29/55	37	1050	Инф. отчет, 2013
2014	27/55	43	5400	Жук, Корзун, 2014
2015	25/59	43	9002	Жук, Корзун, 2015.
2016	25/61	51	7022	Инф. отчет, 2016
2017	27/59	37	6800	Жук, Корзун, 2018
Общее	25/61		83507	

4.3 Вертикальные миграции антарктического криля в подрайоне Антарктического полуострова и сопредельных подрайонах

Для антарктического криля характерна горизонтальная миграция через подрайоны 48.1, 48.2 и 48.3 с потоками течений со скоростью около 0,1–0,2 м/с и связана из сезонными волнами вод АЦТ длительностью от 6 до 7 месяцев в каждом подрайоне. Приток криля в каждый из промысловых подрайонов Атлантического сектора составляет ориентировочно от 250 до 450 тыс. т в сутки

(Сологуб, 2016). В период между волнами миграции приток криля в подрайоны 48.1–48.3 с водами АЦТ сокращается (Жук, 2013; Жук, Корзун, 2016).

Для криля наряду с горизонтальными миграциями (Kawaguchi, Segawa, 2001) свойственно и вертикальное перемещение на протяжении суток, носящих межсезонный характер (Siegel, Kalinowski, 1994; Sigel, 2005; Taki et al., 2005; Brierley et al., 2006).

Благодаря наличию судовой современной гидроакустической аппаратуре был выполнен поиск скоплений криля, и проведено наблюдение за его вертикальными миграциями. Виды эхозаписи скоплений имели представлены сферической, лентообразной формой или «россыпью» — диффундированные в толще рачки, которые в своем многообразии были продемонстрированы автором в публикации.

Вертикальное распределение криля в подрайонах 48.1–48.3 выполнено ежемесячно с учетом позиции его суточной миграции в период с 2001 по 2017 г. Для этих целей были использованы данные по глубине каждого траления на основе горизонта хода верхней подборы трала, что наиболее объективно отражает локализацию агрегаций криля на промысловых участках. Так в подрайоне Антарктического полуострова, в частности, в проливе Брансфилд, где проведены продолжительные (февраль–июль), наблюдения, были получены результаты средних значений глубины вертикальной миграции с позиции суточной переменчивости, включив и показатели ТПО (Таблица 7).

Глубина вертикальной миграции криля в феврале была минимальна (10–30 м). Начиная с марта, наблюдалась тенденция увеличения амплитуды его миграции от 5 до 126 м. Несмотря на ее значительный размах, скопления все же удерживались ближе к подповерхностным глубинам 23–31 м. В дальнейшем по мере выхолаживания вод океана и уменьшение дневной фазы суточного цикла освещенности, диапазон вертикальных миграций достиг максимальной глубины 345 м в июле, а в среднем составл 102 м (Рисунок 43).

Таким образом, диапазон вертикальной миграции криля, средняя глубина его локализации менялись от лета к зиме. Показатель глубины траления был меньше во время астрального лета. С наступлением осени рачки постепенно мигрировали

на большие глубины, достигнув максимального заглубления зимой.

Таблица 7

Изменчивость среднемесячной глубины траления и ТПО с февраля по июль в подрайоне Антарктического полуострова (48.1)

Подрайон	Год	Глубина лова, м ТПО, °С	Месяцы					
			февраль	март	апрель	май	июнь	июль
48.1	2006	min–max				10–330		
		средняя				79±4		
		min/max				-1,75/-1,3		
		средняя				-1,52±0,01		
	2010	min–max		5–85	5–117	10–200	10–252	15–345
		средняя		31±4	33±1	49±2	65±3	102±5
		min/max		-1,5/-1,1	-1,8/-0,8	-1,7/-0,4	-1,9/-0,3	-1,9/-1,4
		средняя		-1,38±0,01	-1,39±0,01	-0,69±0,01	-1,27±0,03	-1,77±0,01
	2014	min–max			21–60	15–310		
		средняя			47±0	52±5		
		min/max			-1,9/-0,8	-2,0/-1,3		
		средняя			-1,56±0,01	-1,68±0,02		
	2015	min–max		6–126	10–277	17–125		
		средняя		26±2	49±3	48±2		
		min/max		-1,1/0,6	-1,5/-0,7	-2,0/-0,8		
		средняя		-0,51±0,03	-1,15±0,01	-1,60±0,01		
	2016	min–max		5–90	15–260	36–315		
		средняя		28±2	82±5	106±4		
		min/max		-1,1/-0,3	-1,8/-0,7	-1,9/-1,6		
		средняя		-0,75±0,02	-1,36±0,03	-1,83±0,01		
	2017	min–max	10–30	5–110	5–258	10–270	10–252	
		средняя	21±5	23±1	27±2	49±4	81±5	
		min/max	-1,1/-1,0	-1,7/0,6	-1,8/-0,5	-2,0/-1,1	-2,1/-1,7	
		средняя	-1,06±0,02	-1,05±0,1	-1,27±0,03	-1,61±0,21	-1,83±0,1	

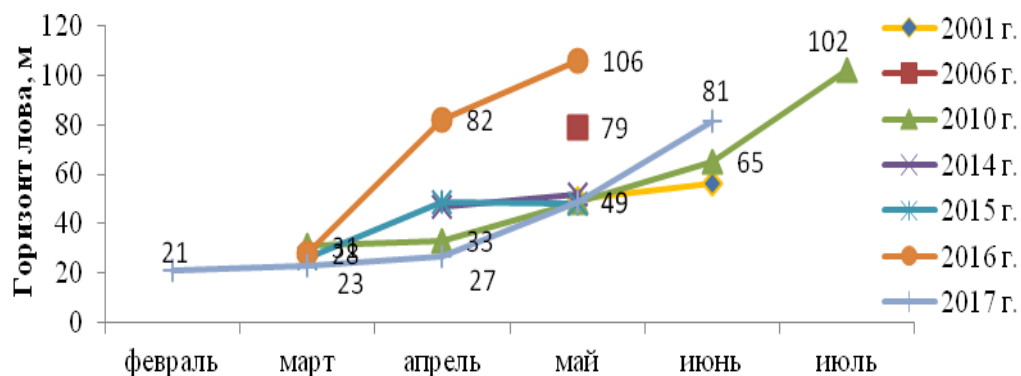


Рис. 43. Месячные изменения среднесуточной (24-часовой период) глубины траления в проливе Брансфилд в феврале–июле 2001, 2006, 2010, 2014–2017 гг.

Наряду с внутрисезонной изменчивостью вертикальной миграции наблюдается и межгодовая миграция. Максимальное заглубление рачков для одних и тех же месяцев (апрель — 82 м, май — 79 м и 106 м) наблюдалось в 2006, 2016 гг. Именно в эти годы в проливе Брансфилд облавливался крупноразмерный криль. Его массовое присутствие стало возможно благодаря имеющим место мощным и устойчивым потокам со скоростью течений из моря Беллинсгаузена около 50 см/с (Масленников, 2003), направленный на северо-восток (Солянкин, Спиридонов, 1987). Мы считаем, что поступление криля в пролив было обусловлено воздействием на структуру водных масс, в том числе усилившегося устойчивого и продолжительного по времени влиянием ветров западных румбов с высокой их повторяемостью (72–75 %).

В 2010, 2014, 2015, 2017 гг. размерный состав криля был меньше, чем в 2006, 2016 гг. Доминирование мелких и среднеразмерных особей на восточной и центральной акватории пролива Брансфилд в эти четыре года предопределялось поступлением молоди в район оконечности Антарктического п-ова. Затем на запад, пополняя ей субпопуляцию криля пролива, за счет распространению воды уэдделловоморского происхождения и интенсивным воздействием ветров восточных румбов с высокой повторяемостью. В холодных водах горизонт облова криля в два раза меньше, чем в относительно теплых водах и связан он с распределением пищевых организмов в ходе протекающей сезонной сукцессии. Нахождение крупного криля на большей глубине связано благодаря плавательной активности взрослых особей, которые могут двигаться перпендикулярно доминирующим потокам (Tarling, Thorpe, 2014), а адвекция оказывает решающую роль в их вертикальном и горизонтальном распределении (Murphy, 2004; Murphy et al., 2004).

Суточные вертикальные миграции криля имеют свои особенности и наблюдаются выше нижней границы термоклина в зоне изобилия фитопланктона, динамика которого обусловлена сезонным развитием и связана с продолжительностью светового дня. В феврале–марте в светлое время суток криль облавливался в поверхностном горизонте, где скопления имели

лентообразную форму протяженностью от 3 до 5–7 миль (Рисунок 44).

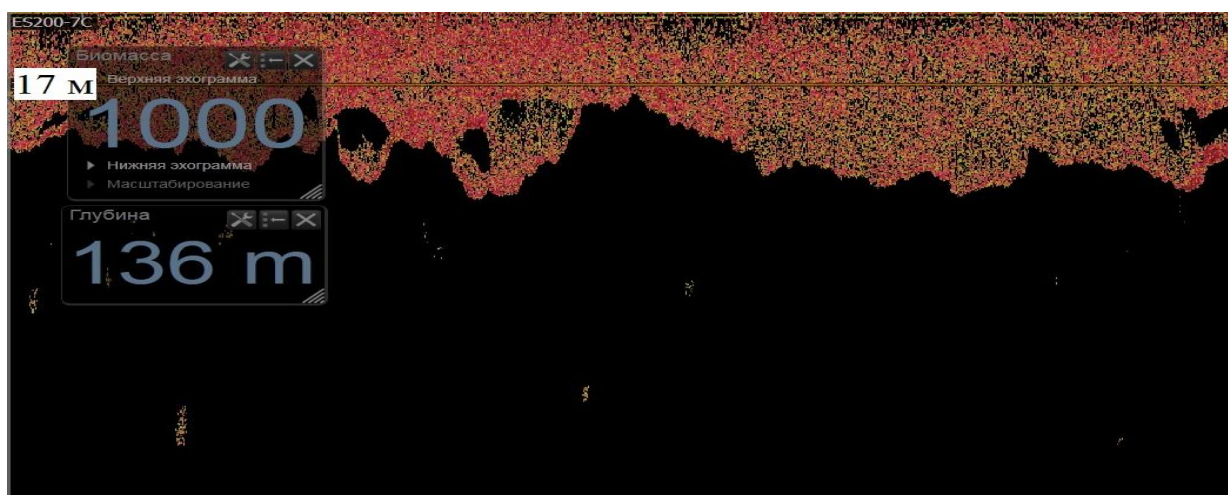


Рис. 44. Эхозапись скопления антарктического криля в светлое время суток в проливе Брансфилд в первой декаде марта 2015 г.

Такие формы и горизонт локализации криля продолжают до наступления сумерек, после которых в течение 15–30 минут происходит рассредоточение плотных скоплений криля от поверхности до максимальных глубин с присущим значением для каждого месяца. В темное время суток (Рисунок 45) криль держится диффундировано, где далеко не все рачки мигрируют к поверхности. Значительная их часть остается в подповерхностных слоях воды, уменьшая доступность для ночных хищников.

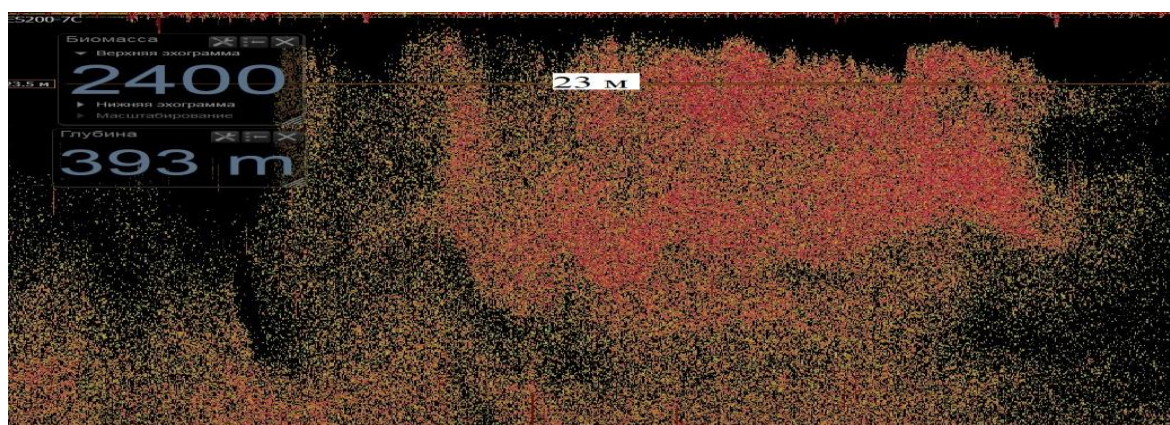


Рис. 45. Эхозапись скопления антарктического криля в темное время суток в проливе Брансфилд в первой декаде марта 2015 г.

В предрассветные часы рачки вновь группируются в отдельные стаи на

глубине более 50 м, а в зимние месяцы — свыше 100 м (Рисунок 46).

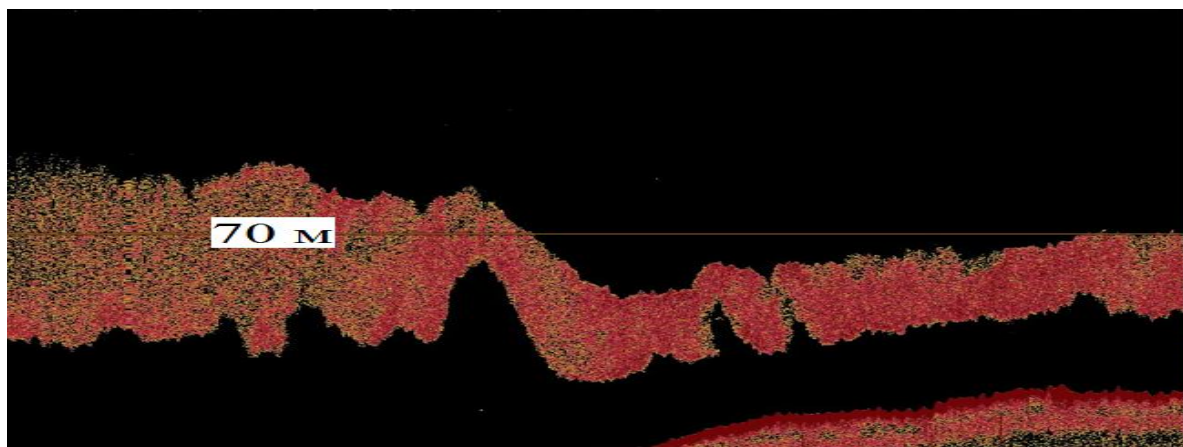


Рис. 46. Эхозапись скопления антарктического криля в светлое время суток в проливе Брансфилд в третьей декаде мая 2015 г.

В июне 2017 г. из факторов физической среды нами было выделено взаимное распределение вод различных модификаций, определяемое преимущественно системой течений. Это воды западной ветви Уэдделловского круговорота проникающие в пролив Брансфилд характеризующиеся существенным заглублением температурного минимума (минус 1,8 °С) в слое гомотермии на глубины до 180 м при температуре на поверхности минус 1,9 °С. В светлое время здесь наблюдалась вертикальная миграция плотных нагульных скоплений криля от подповерхностных глубин до 180 м. Это подтверждает способность активного обитания рачков при столь низких температурах, что раньше не было отражено в литературных источниках. При относительной устойчивости этого течения происходит генерирование мелкомасштабных вихрей на участках со сложным донным рельефом, приуроченных к островному свалу глубин, которые выглядят достаточно значимыми в формировании условий повышенной биопродуктивности указанных вод.

Таким образом, очевидно, то, что криль совершает постепенное заглубление от астрального лета к зиме вследствие изменения положения градиентных зон, к которым приурочены организмы питания. При этом горизонт его обитания в аналогичные месяцы имеет существенные межгодовые колебания из-за наличия

доминирующих тех или иных водных масс на участках промысла.

Для Южных Оркнейских островов и острова Южная Георгия характер суточных вертикальных миграций криля был аналогичен рачкам в подрайоне Антарктического полуострова. Однако между подрайонами существовали междумесячные и межгодовые различия минимальных, максимальных и средних значений вертикальных перемещений криля (Таблицы 8, 9).

В подрайонах 48.2, 48.3 скопления криля в светлое время суток локализовались ближе к грунту в виде лентообразной формы (Рисунок 47).

С наступлением сумерек плотные скопления рачков в результате изменения ритмики геофизических циклов, в первую очередь, колебаний освещенности, диффундируют в толще воды, активно поднимаясь к поверхности за 20–30 минут, распределяясь здесь до рассвета (Рисунок 48).

Таблица 8

Изменчивость среднемесячной глубины траления с января по июль в подрайоне Южные Оркнейские острова (48.2)

Под-район	Годы	Глубина лова, м	Месяцы						
			январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль
48.2	2002	min–max	15–150	15–200	17–100	17–140	20–150	20–140	
		средняя	47±0	68±4	37±2	38±1	44±2	74±3	
	2003	min–max			10–80	10–150	10–120		
		средняя			23±1	32±1	39±2		
	2004	min–max			0–80	10–340			
		средняя			16±1	67±2			
	2005	min–max			10–230	20–280	80–400		
		средняя			55±2	92±3	219±9		
	2006	min–max		10–200	10–240				
		средняя		77±0	79±1				
	2008	min–max			5–90	5–250			
		средняя			29±1	48±1			
	2009	min–max					30–290	70–390	150–430
		средняя					113±6	255±4	263±4
	2010	min–max			5–180				
		средняя			56±3				
	2013	min–max				5–50	5–50		
		средняя				10±1	12±1		
	2014	min–max					11–200	60–300	
		средняя					41±3	141±46	

Таблица 9

Изменчивость среднемесячной глубины траления с мая по октябрь в подрайоне острова Южная Георгия (48.3) в период 2001–2005, 2013–2015 гг.

Подрайон	Год	Глубина лова, м	Месяцы					
			май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
48.3	2001	min–max			35–220	30–250	20–200	20–220
		средняя			83±2	94±4	77±3	57±4
	2002	min–max		40–125	40–200	30–270	30–220	
		средняя		72±3	91±2	94±3	73±2	
	2003	min–max	20–120	40–210	50–260	20–350	20–150	
		средняя	72±2	99±2	123±3	107±5	74±3	
	2004	min–max	25–210	10–200				
		средняя	86±3	58±3				
	2005	min–max	35–175	60–180	50–290	35–250		
		средняя	106±4	124±2	128±4	110±4		
	2013	min–max		40–210	10–240			
		средняя		106±3	117±5			
	2014	min–max		25–260	15–125			
		средняя		161±9	103±3			
	2015	min–max		21–220				
		средняя		126±2				

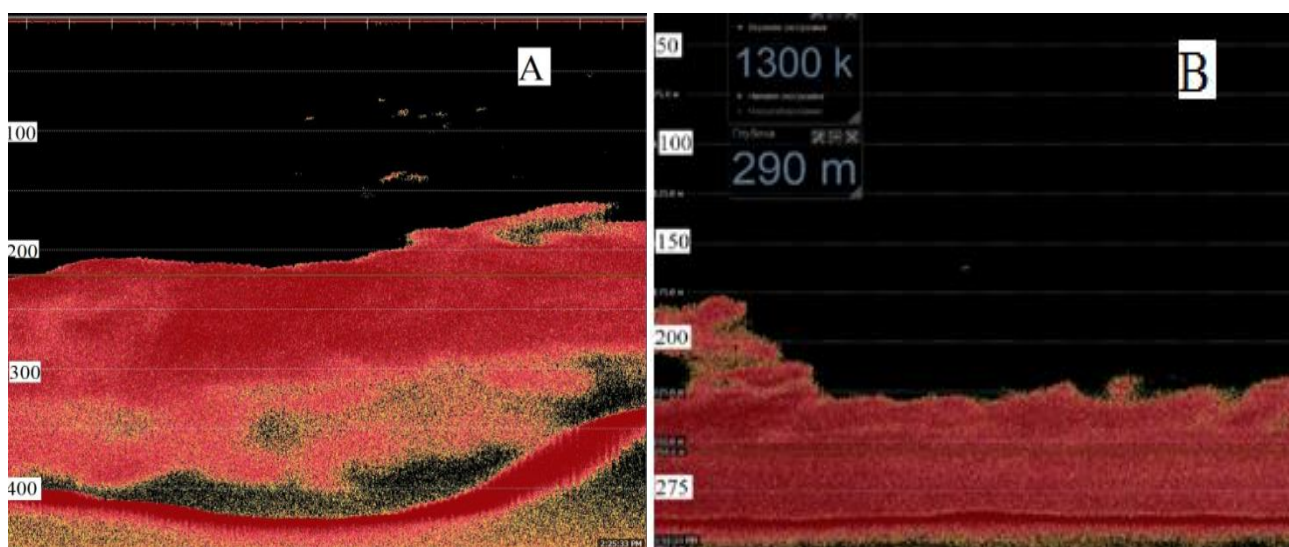


Рис. 47. Эхозапись скоплений антарктического криля в светлое время суток в подрайоне 48.2 (А) и 48.3 (В) в июне 2014 г.

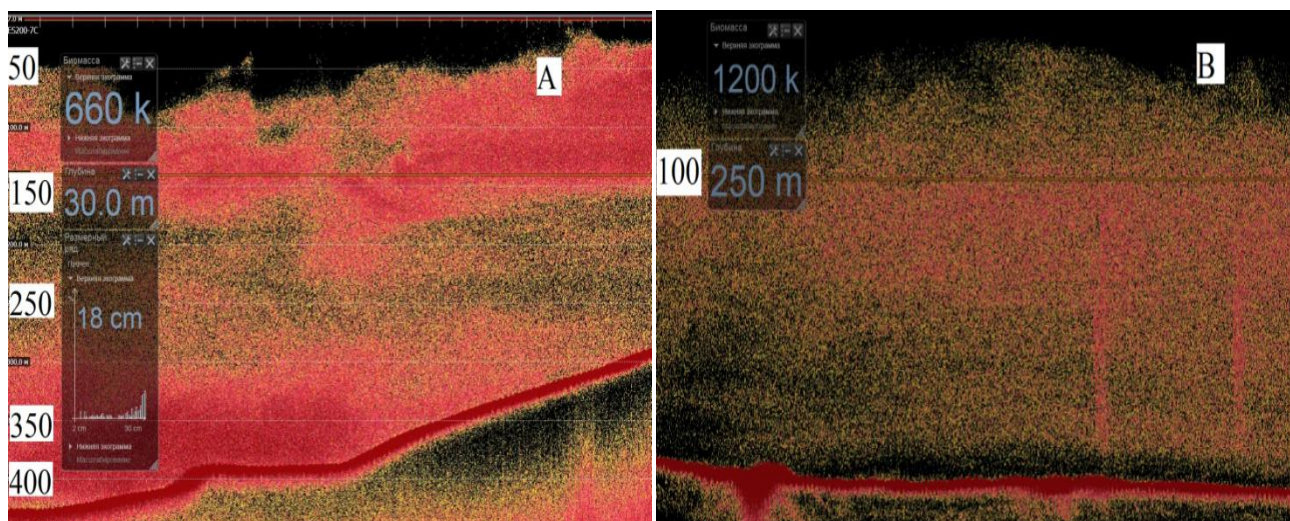


Рис. 48. Эхозапись скопления антарктического криля в темное время суток в подрайоне 48.2 (А) и 48.3 (В) в июне 2014 г.

Промысел в подрайоне о. Южная Георгия, как правило, реализовывался судами после закрытия льдом подрайона Южные Оркнейские острова. Вследствие этого период промысла на акватории острова Южная Георгия был сдвинут из зимних месяцев в весенние. Несмотря на это нам представилась возможность сопоставить данные глубины траления из подрайона 48.3 используя лишь данные за май–июль. В мае средние значения глубины траления для двух подрайонов имели близкие величины и равнялись 78 м (подрайон 48.2) и 88 м (подрайон 48.3).

В июне–июле криль мигрировал из верхних слоев океана на глубинные, находясь в горизонтах 150–430 м (подрайон 48.2). В аналогичные месяцы для подрайона 48.3 диапазон вертикальных миграций (21–260 м) был заметно меньше, нежели в подрайоне 48.2 и объясняется местом лова криля на островном шельфе острова Южная Георгия. Однако в период астральной зимы средняя глубина траления для этих подрайонов существенно отличалась (Рисунок 49).

В подрайоне 48.3 по мере продолжения промысла с августа по октябрь среднее значение горизонта лова криля постепенно уменьшалось от 101 м до 57 м. Этот процесс уменьшения размаха его суточной вертикальной миграции связан с меняющимися факторами внешней среды, которые оказывают непосредственное влияние на криль. Увеличение продолжительности дневного освещения отразилось на уменьшении глубины облова. Амплитуда миграций вплоть до октября имела регулярный характер и оставалась значительной.

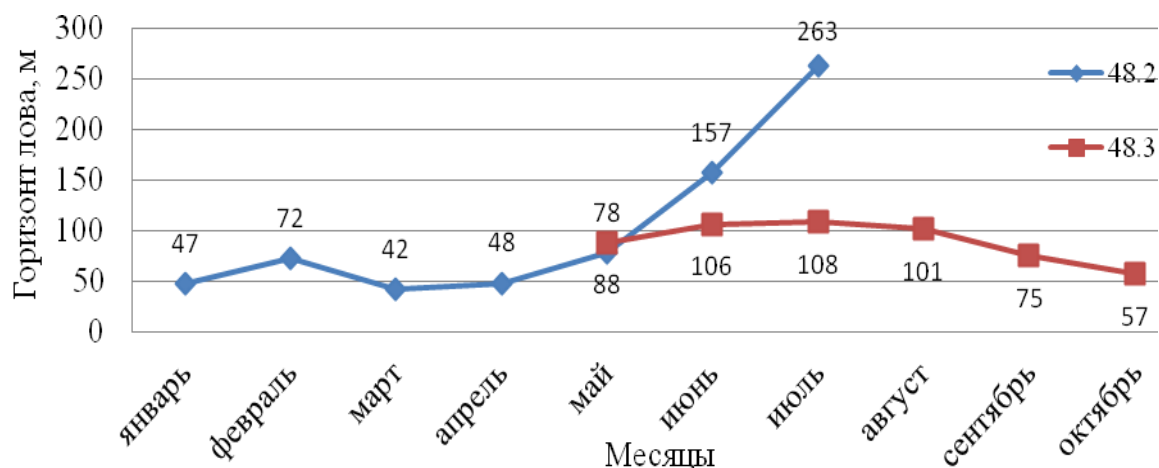


Рис. 49. Среднемесячные изменения суточной (24-часовой период) глубины траления в подрайоне 48.2 и 48.3 в период с января по октябрь 2001–2015 гг.

Уловы на единицу усилия (CPUE) в этих подрайонах были значительно выше в течение светлого времени и самыми низкими в ночные часы осенью и зимой. Исключение было для подрайона 48.1 в мае 2006 и в третьей декаде мая 2015 гг.

Следовательно, суточные и сезонные видоизменения вертикальной миграции, плотность скопления криля сопряжены с особенностями его питания, нерестом. При этом следует учитывать влияния иных абиотических факторов: световые условия, температурное влияние, образование квазистационарных зон с повышенной завихренностью вод под воздействием ветровой активности и, в меньшей степени — избегания хищников.

Скопления криля на промысловых участках показали высокую динамичность, при которой они не остаются длительное время в устойчивом состоянии. Происходит их чередующаяся постоянная модификация, в результате которой может совершаться усиленный распад скоплений в считанные часы независимо от времени суток. Интенсивность вертикальных и горизонтальных миграций криля обусловлена, в том числе, резкой перестройкой барического поля, сменой направления ветров, включая штормовые погоды. Как показала практика промысла, по прошествии трёх суток на одних и тех же участках нами вновь отмечались промысловые скопления криля. Подобные ситуации, механизм восстановления вновь образованных скоплений, их продолжительность на

прибрежных участках объясняются, в том числе орографическим фактором, придающим системе циркуляции вод большую устойчивость в результате благоприятного влияния циркуляционных процессов барического поля.

4.4 Динамика биомассы антарктического криля в проливе Брансфилд (Антарктический полуостров)

АНТКОМ в 2009 г. установил временное распределение порогового уровня между подрайонами в соответствии со следующим соотношением: 48.1 (Антарктический п-ов) — 25 %; 48.2 (Южные Оркнейские о-ва) — 45 %; 48.3 (о. Южная Георгия) — 45 %; 48.4 (Южные Сандвичевы о-ва) — 15 %. В каждом подрайоне не может быть получен больший вылов установленного процента. Сумма долей превышает 100 %, так как вылов в каждом подрайоне установлен во многом произвольно, исходя из исторического опыта промысла в 1980–1990-е гг. и вне связи с выловом в ином подрайоне (Список..., 2009; Список ..., 2017). В 1995–2005 гг. специалисты ЮгНИРО указывали на произвольность и необоснованность планов АНТКОМ (SC-CAMLR-XIV/BG/29, 1995; Бибик, Губанов, 2001; Бибик и др., 2005).

Мера по сохранению 51-07 (2010) о временном распределении порогового уровня при промысле антарктического криля в статистических подрайонах 48.1–48.4 его ежегодные выловы в подрайоне 48.1 в 2010, 2013–2017 гг. в два раза превышают вместе взятые значения в подрайонах 48.2 и 48.3 (Рисунок 50).



Рис. 50. Уловы антарктического криля по подрайонам АсА за 2000–2020 гг.

В настоящее время на промысле криля в Районе 48 (Рисунок 51), явно произошло изменение ситуации, что, по нашему твердому убеждению, требует пересмотра ныне существующей величины порогового уровня 620 тыс. т между подрайонами АсА. Следует отметить, что, когда в 1991 г. ССАМЛР вводил ограничение на вылов криля в Районе 48, величина ОДУ рачков была оценена на уровне 1,5 млн т, тогда как по последним же данным она составляет 5,61 млн т (Список ..., 2009; Список ..., 2017). В результате увеличения существующего значения ОДУ должна была увеличиться и величина временного ограничения вылова в Районе 48. Однако этого не произошло, а наличие ограничения вылова криля пороговым уровнем 620 тыс. т не имеет научного обоснования (Касаткина и др., 2014; Петров, Касаткина, 2019).

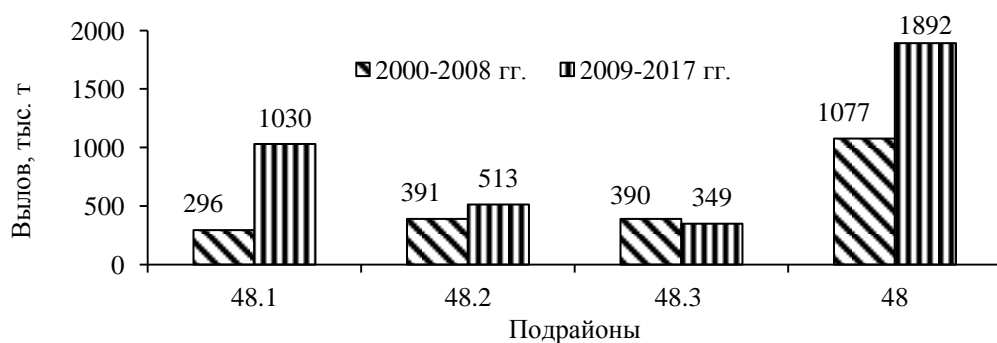


Рис. 51. Общий вылов антарктического криля в Районе 48 в подрайонах 48.1, 48.2, 48.3 до введения ограничения вылова (2000–2008 гг.) и после (2009–2017 гг.).

Важным моментом увеличения квоты вылова для Района 48 и ее перераспределения между подрайонами является получение новых данных по оценке промысловой биомассы антарктического криля. В том числе в подрайоне Антарктического полуострова и, в частности, в проливе Брансфилд, где расположено наибольшее по сравнению с другими подрайонами АсА количество промысловых участков (Kawaguchi, Candy, 2009).

В настоящее время АНТКОМ испытывает недостаток регулярных крупномасштабных акустических съемок, что не дает возможность ежегодно выполнять региональный акустический мониторинг за состоянием биомассы криля и ее пространственным распределением. Кратковременные акустические

съемки не позволяет объективно оценить биомассу криля в подрайонах и сопоставить ее с годовыми или сезонными потребностями хищников и промысловым выловом.

В этой связи практический интерес представляют данные уловов промысловых судов. Это способствует оценке соотношения биомассы, доступной для флота и величины вылова, включая изменчивость промысловой биомассы, размерного состава криля в течение текущего сезона на участках его лова с учетом влияния приземного атмосферного переноса.

В настоящее время наиболее остро стоит вопрос в отношении управления ресурсами криля для подрайона Антарктического полуострова, где сосредоточен его устойчивый вылов в Антарктике, и через который происходит транспорт криля из моря Беллинсгаузена и моря Уэдделла в море Скотия.

Принимая во внимание вышесказанное, и возможность использования различных математических моделей, их преимущества и недостатки, в том числе и подход, часто используемый при проведении учетных съемок для определения численности популяции — «улов на единицу промыслового усилия, как характеристика промысловых действий» (Максименко, Антонов, 2002), который не потерял свою нынешнюю актуальность.

4.4.1 Биомасса криля в сезон 2006 г.

В мае 2006 г. в проливе Брансфилд на участке с востока на запад протяженностью 75 морских миль было выполнено 304 траления. Данные этих уловов были использованы для расчета биомассы криля (Рисунок 52).

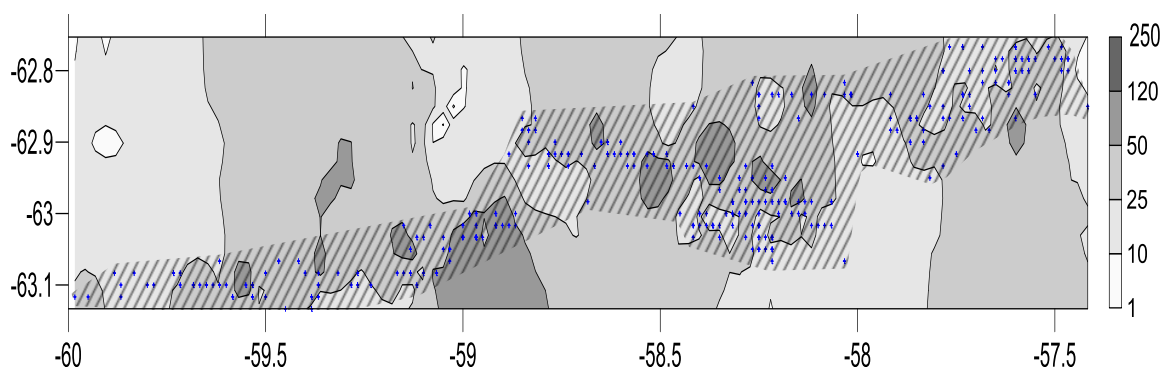


Рис. 52. Удельная биомасса криля в проливе Брансфилд в мае 2006 г.

Значения плотности биомассы криля по участкам промысла в проливе Брансфилд в мае 2006 г. колебалась в широком диапазоне от 8 до 138 г/м³. Наибольшее количество тралений (131) имели плотность 33,8 г/м³ со средней плотностью биомассы $48,5 \pm 0,40$ г/м³ (Таблица 10).

Таблица 10

Расчет промысловой биомассы криля в проливе Брансфилд в мае 2006 г.

Характеристики		Зоны плотности, г/м ³					Всего
		1–10	10–25	25–50	50–120	120–250	
Количество станций	шт.	4	118	131	48	3	304
Средневзвешенная плотность биомассы	г/м ³	8,13	18,89	33,82	64,66	138,06	48,50
Стандартное отклонение средневзвешенной плотности биомассы	г/м ³	0,78	0,38	0,54	1,92	25,83	0,40
Площадь	км ²	4,24	592,46	1262,79	201,32	0,06	2060,87
Объем скоплений	млн м ³	169,6	23698,4	50511,6	8052,8	2,4	82434,8
Биомасса	тыс. т	1,38	447,63	1708,22	520,72	0,33	2678,28
	±	0,42	17,86	54,3	31,1	0,27	65,07
	мин.	0,96	429,77	1653,92	489,62	0,06	2613,21
	макс.	1,8	465,49	1762,52	551,82	0,6	2743,35
	%	0,05	16,71	63,78	19,44	0,01	100

В 2006 г. общая площадь лова криля лишь одного нашего судна равнялась 2060 км². Полученное значение промысловой биомассы криля колебалось от 2613 до 2743 тыс. т, а в среднем составило 2678 ± 65 тыс. т (Рисунок 53).

Наличие промысловой биомассы криля в проливе Брансфилд определялось поступлением крупноразмерного криля из моря Беллинсгаузена в сочетании с мелкоразмерными рачками, привнесенные из моря Уэдделла на восточную акваторию пролива. Устойчивая динамика скапливания криля на промучастках стала возможной благодаря влиянию зонального типа атмосферной циркуляции с высокой повторяемостью ветров западных румбов, которые оказали воздействие на динамику вод, а в сочетании с рельефом дна — благоприятные и продолжительные условия повышенного скапливания рачков.

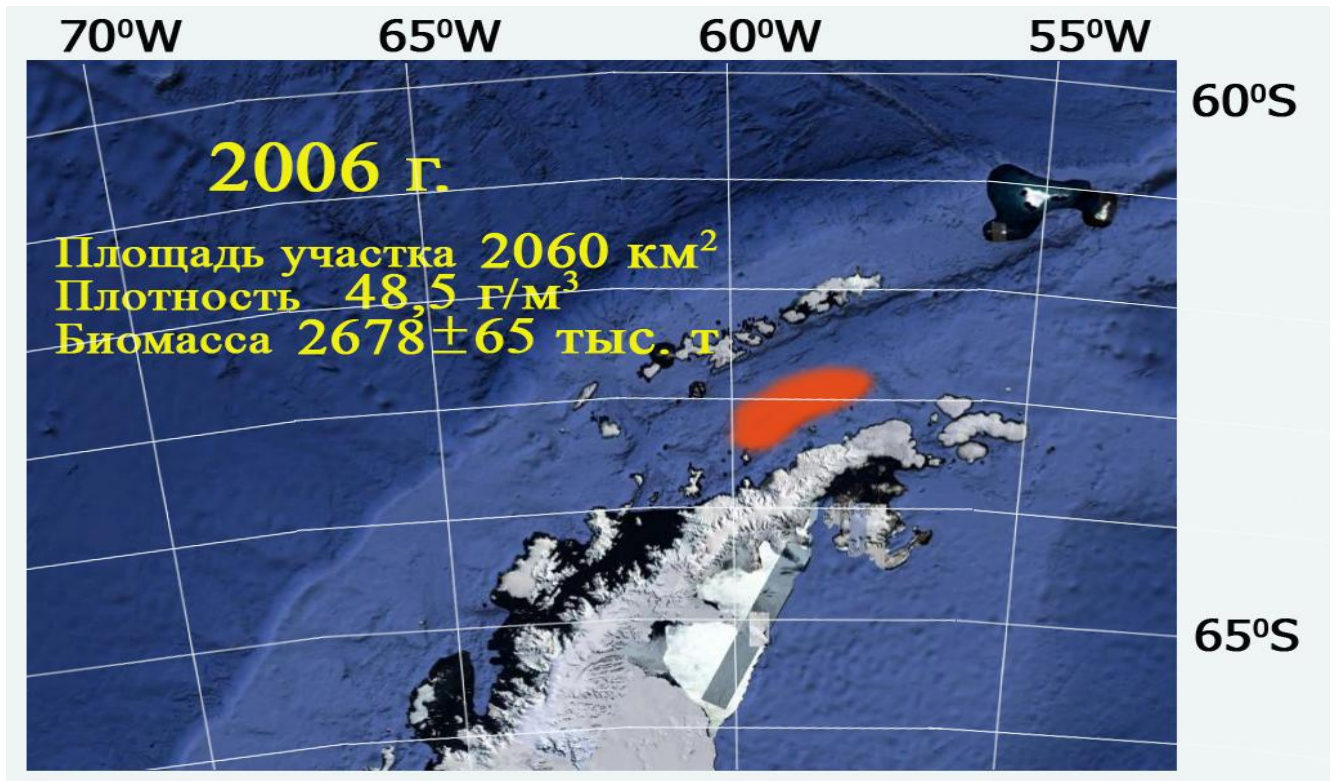


Рис. 53. Биомасса криля на промучастке пролива Брансфилд в мае 2006 г.

4.4.2 Биомасса криля в сезон 2017 г.

В период с 28 февраля по 20 июня 2017 г. был выполнен расчет количественной оценки биомассы криля с использованием данных уловов 498 тралений на шести участках протяженностью около 190 миль (Рисунок 54).

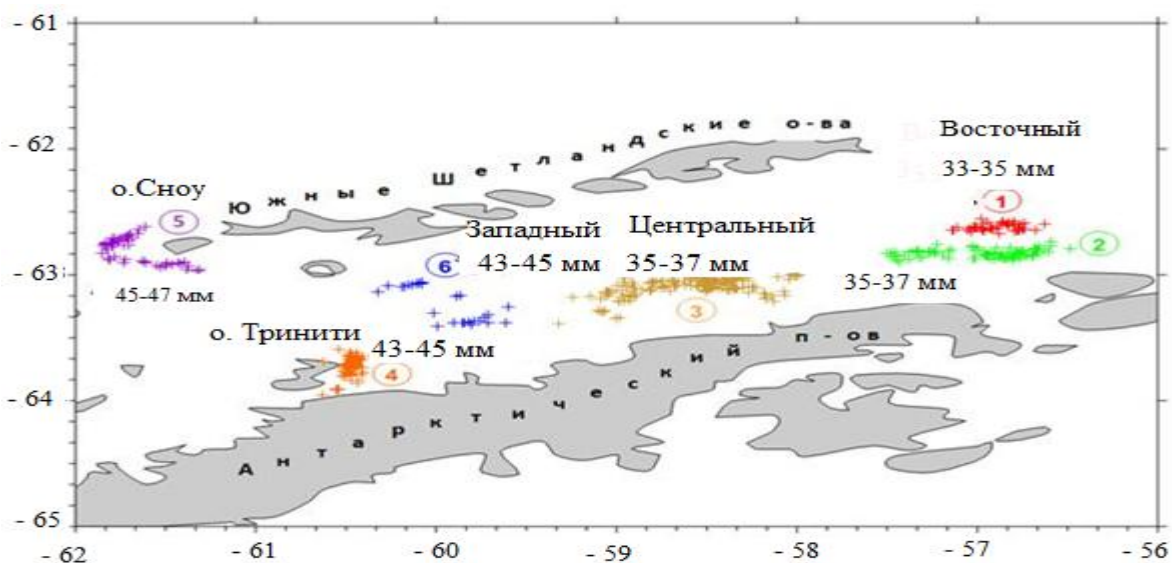
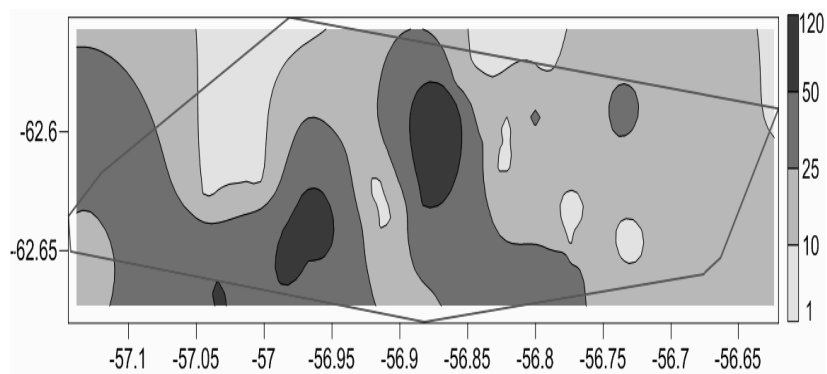
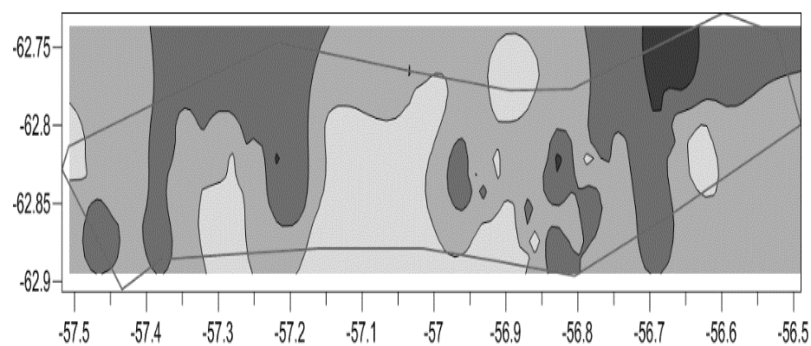


Рис. 54. Схема промысловых участков и значение модальных классов антарктического криля в проливе Брансфилд в феврале–июне 2017 г.

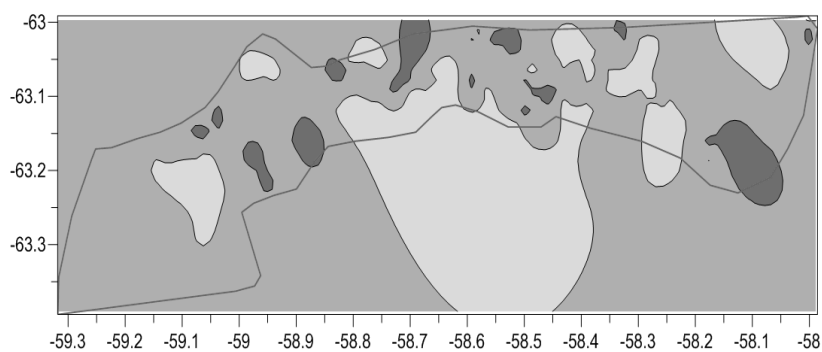
Средневзвешенные оценки плотности биомассы криля на площади между изолиниями на шести промысловых участках представлены на рисунке 55.



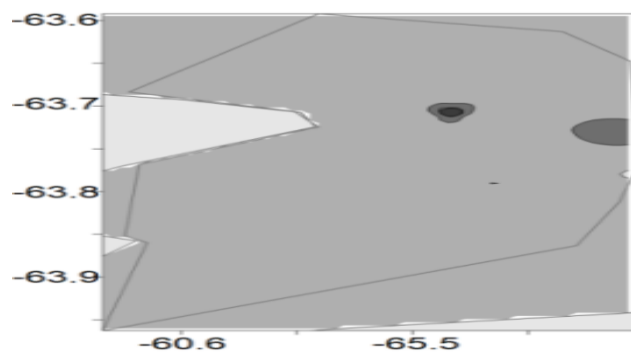
Участок 1



Участок 2



Участок 3



Участок 4

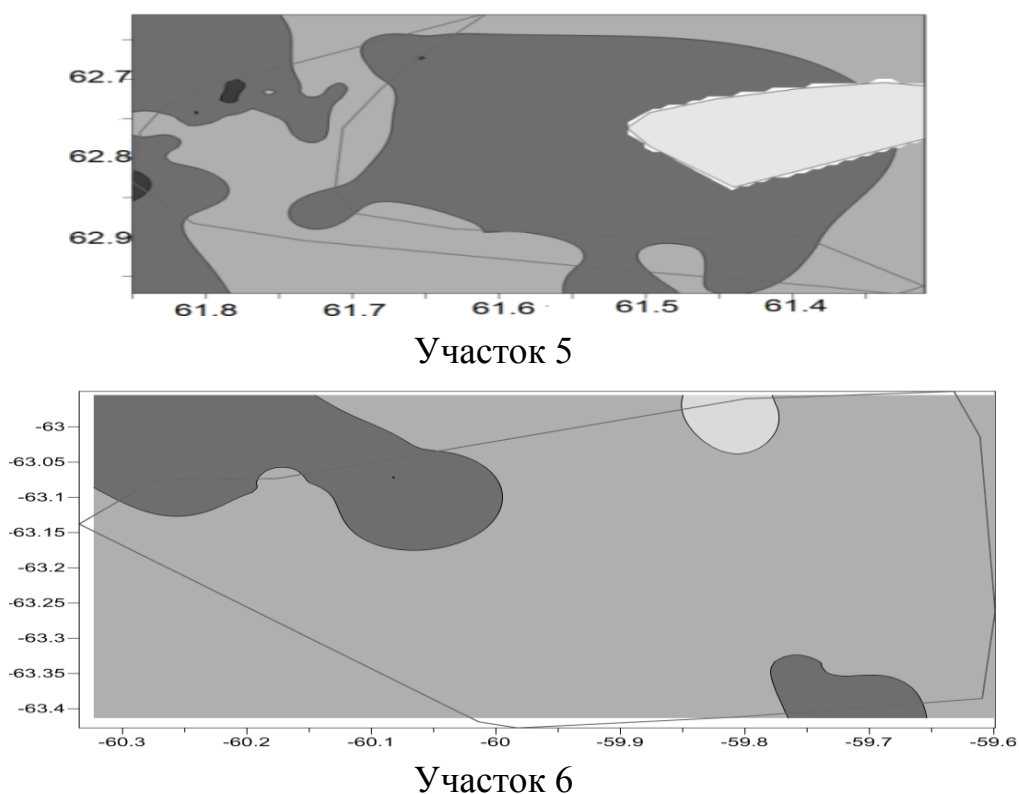


Рис. 55. Распределение зон с равновеликими уловами (г/м^3) на участках промысла в проливе Брансфилд в феврале–июне 2017 г.

Ломаная линия — граница площади участков, использованная в расчетах

В марте–июне 2017 г. плотность биомассы криля на промысловых участках колебалась от 1,4 до $102,0 \text{ г/м}^3$. Средневзвешенная плотность биомассы составила: на 1-ом участке $27,5 \pm 1,24 \text{ г/м}^3$, на 2-ом — $20,7 \pm 0,60$, на 3-ем — $15,5 \pm 0,39$, на 4-ом — $17,0 \pm 0,31$, на 5-ом — $26,5 \pm 0,81$, на 6-ом — $17,4 \pm 0,85 \text{ г/м}^3$. На всей обследованной акватории пролива Брансфилд она равнялась $18,4 \pm 0,34 \text{ г/м}^3$ (Таблица 11).

В феврале–июне 2017 г. величина промысловой биомассы криля составила: на 1-ом участке $288,2 \pm 26,18$ тыс. т, на 2-ом — $511,0 \pm 29,89$, на 3-ем — $778,2 \pm 39,26$, на 4-ом — $211,2 \pm 7,12$, на 5-ом — $233,0 \pm 7,85$, на 6-ом — $945,0 \pm 31,85$ тыс. т. Суммарное значение биомассы на участках колебалось от 2755,97 до 3177,12 тыс. т, в среднем — $2966,55 \pm 106$ тыс. т.

Таблица 11

Расчет промысловой биомассы криля в проливе Брансфилд в марте–июне 2017 г.

Характеристики		Промысловые участки						Всего
		1	2	3	4	5	6	
Количество станций	шт.	44	95	187	87	54	31	498
Средневзвешенная плотность биомассы	г/м ³	27,5	20,7	15,5	17,0	26,5	17,4	18,4
Стандартное отклонение средневзвешенной плотности биомассы	г/м ³	1,24	0,60	0,39	0,31	0,81	0,85	0,34
Площадь	км ²	262,1	617,5	1256,3	312,18	219,8	1361,75	4029,63
Объем скоплений	млн м ³	10484	24700	50252	12487,2	8792	54470	161185,2
Биомасса	тыс. т	288,15	511,03	778,21	211,19	232,99	944,98	2966,55
	±	26,18	29,89	39,26	7,80	14,43	93,03	106,46
	мин.	261,97	481,14	738,95	203,39	218,56	851,96	2755,97
	макс	314,32	540,92	817,47	218,99	247,41	1038,01	3177,12
	%	9,71	17,23	26,23	7,12	7,85	31,85	100,00

Параллельно с оценкой биомассы криля в период наблюдений особое внимание было уделено биологическим вопросам, в т.ч. размерному составу, который четко «привязан» к участкам скоплений выделенных единиц биомассы.

Для сезона 2006 года эти значения были представлены в разделе 4.2 с. 89–91, а для сезона 2017 г. — в разделе 4.2 с. 99–101.

Обсуждение Величина промысловой биомассы антарктического криля в проливе Брансфилд по данным траловых уловов мае 2006 г. на площади 2060 км² и в феврале–июне 2017 г. на шести промысловых участках площадью 4030 км² составила 2,6–2,7 млн т и 2,7–3,1 млн т соответственно. Это значение, по нашему убеждению, занижено, поскольку принятая в расчетах высота скоплений в дневное время равна 40 м. В ночных скоплениях криль рассеивался и распределялся в толще воды высотой более 100–120 м. Следует акцентировать внимание на то, что расчет площади скоплений определялся исключительно по координатам работы нашего судна. Фактическая общая площадь скоплений, на которой работали остальные суда, была значительно больше. В представленных

расчетах она не учитывалась, в том числе и площадь скоплений, покрытых льдом, где не могли тралить суда с традиционной системой лова, но добыча криля судами с непрерывным тралением на них не прекращалась.

Наши данные плотности биомассы криля в г/м^3 и пересчитанные в г/м^2 близки, являясь величинами одного порядка и сопоставимы с оценками гидроакустического метода в проливе Брансфилд (Токарев и др., 2004): так, в районе о-ва Сноу (участок 5) по нашим данным плотность траловых уловов биомассы криля в скоплениях составляла 1060 г/м^2 , а по данным гидроакустического учета — 1200 г/м^2 ; в районе о-ва Тринити (участок 4) — 680 г/м^2 и 1300 , соответственно. Токарев в соавторстве (Токарев и др., 2004) сообщают, что на участке пролива Брансфилд с учетом островов Ливингстон, Смит, Брандт и Тринити, биомасса криля по данным гидроакустического учета составляла 962,5 тыс. т на общей площади 27,1 тыс. км^2 . Несмотря на разность используемых методов в оценке биомассы криля и наличия ее пространственно-временной изменчивости в течение промыслового сезона, о чем свидетельствует переменчивость величин CPUE, наши данные в границах вышеуказанного подрайона на промысловых участках 4, 5 и 6 на значительно меньшей площади 1,9 тыс. км^2 показали относительно высокую биомассу рачков в скоплениях, равной 1389 тыс. т.

Соизмеримые значения биомассы криля 0,6–1,9 млн т были получены в пределах акватории, где расположены наши участки, но с применением трала Айзекса-Кидда (Латогурский и др., 1990), менее уловистого в отношении криля, чем промысловые тралы (Касаткина, 2004).

Учтенная нами биомасса криля в проливе Брансфилд в течение четырех месяцев с 28 февраля по 20 июня составляет в среднем 3 млн т. Биомасса криля, выносимая за один год в соседние районы течением в районе Оркнейских о-вов, составляет 9,2 млн т пропорциональна по времени и превышает наш период наблюдений в три раза (Kasatkina et al., 1997). Очевидно, этот факт количественно подтверждает существующий перенос криля между подрайонами 48.1 и 48.2 в АЧА и наличие связи между промысловыми участками указанных подрайонов.

Наши результаты по оценки биомассы и размерного состава криля в сезон 2017 г. на каждом из участков свидетельствовали о дискретном распределении плотности скоплений, разнокачественном составе рачков в пространстве и во времени, обусловленные воздействием различных водных масс в результате их горизонтальной циркуляции (Рисунок 56).

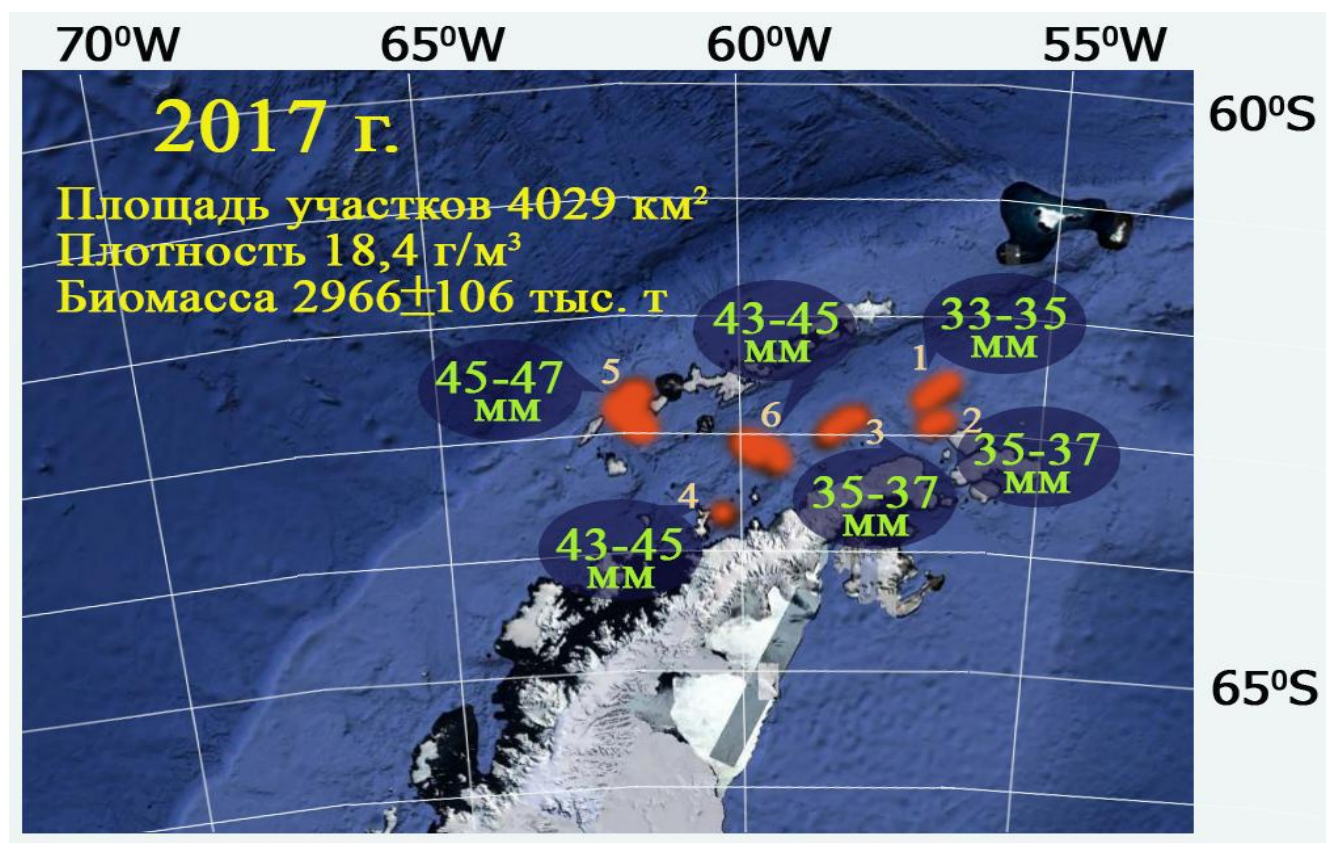


Рис. 56. Распределение участков промысла, модальных классов криля и его биомассы в проливе Брансфилд в марте–июне 2017 г.

Обсуждение. Современное ограничение на вылов антарктического криля в подрайоне Антарктического полуострова, установленное в рамках предохранительного подхода к эксплуатируемому ресурсу (Hill et al., 2016), в соответствии с Мерой по сохранению 51-07 (2016), составляет 155 тыс. т, что равно 5 % от полученного нами значения промысловой биомассы лишь для промысловых участков пролива Брансфилд. Это свидетельствует о наличии значительного резерва для увеличения вылова криля в проливе Брансфилд,

учитывая, что за последние пять сезонов (2013/2014–2017/2018 гг.) вылов криля велся преимущественно в проливе Брансфилд, чего не было в период между 1986 и 1992 гг. (Murphy et al., 1997).

На основе полученных расчетов биомассы криля можно аргументировать пересмотр существующего порогового уровня вылова антарктического криля для подрайона 48.1 в сторону увеличения или в целом его отмену (Временное..., 2016). В настоящее время не отмечены отрицательные случаи влияния промысла и его негативные последствия для зависимых видов, в частности, личинок и молоди рыб (Жук, 2017). В том числе на других потребителей, обитающих в проливе Брансфилд (Barbosa et al., 2018) и в сопредельных водах (морские млекопитающие, птицы, и др.) (Agnew, Phegan, 1995; Ichii et al., 1994; Ichii, Naganobu, 1996a; Mori, Butterworth, 2006; Lynch et al., 2009; Ichii et al., 2018; Staniland, Hill, 2018).

Доминирования тех или иных ветров в атмосфере и в системе течений вод сказывается на успешности промысла в каждом из подрайонов. Существующий факт наличия обратной связи в образовании большого количества скоплений криля между акваториями Южных Шетландских и Южных Оркнейских островов, подтверждено в работе В.В. Масленникова (2003, с. 187). В дополнение к изложенному, следует добавить ярко выраженное противоположное состояние запаса криля между подрайонами 48.1 и 48.2, проявившегося через его вылов в 2006 г., как 88834 т и 3102 т, а в 2016 г. — 154461 т и 34301 т, соответственно. Следует отметить, фактор вылова криля со стороны АНТКОМ для подрайона 48.1, как сдерживающий, регламентированный Мерой по сохранению 51-07 (2016) в 155000 т и отрицательно влияющий на потенциал вылова, который мог быть значительно больше полученных величин.

Вместе с тем наши результаты свидетельствуют о колебаниях удельной биомассы криля в пространственном и межгодовом плане в гораздо больших значениях, нежели данные Reiss et al. (2017) о средней численности криля в проливе Брансфилд зимой. Эти значения на порядок выше (8 криля м^{-2}), чем летом ($0,25 \text{ криля м}^{-2}$), и что такая же картина наблюдалась во все зимы

независимо от ледяного покрова. Reiss et al. (2017) также отметили, что акустические оценки биомассы криля зимой были на порядок выше (например, ~ 5 500 000 т в 2014 г.) по сравнению со средним значением за 15 лет летом (например, 520 000 т), что такие наблюдения согласуются с гипотезой сезонного перемещения криля на шельф из прибрежных вод осенью и зимой (Trathan et al., 1993; Siegel, 2000).

По нашему убеждению, на состояние запаса криля в АсА предопределяющее влияние оказывает величина его пополнения в предыдущие годы и уровень выживаемости рачков. Гидрометеорологические факторы среды, в том числе динамика вод и ледовитость на запас (или общую биомассу) криля и плотность его агрегаций в протекающем сезоне оказывают влияние в гораздо меньшей степени. Довольно хорошо известны долгопериодные изменения запаса криля, имевшие место более, чем на порядок за 11-летний цикл. Основной причиной таких колебаний выступает межгодовая вариация величины годовых классов криля (пополнение молодью).

Высокая биомасса криля объясняется высоким пополнением на протяжении трёх предыдущих лет. По утверждению В.В. Масленникова (2003; 2004) основное пополнение и увеличение запаса происходит за счет притока криля половозрелой части популяции из зоны воспроизводства и напрямую связана с меридиональным типом атмосферной циркуляции, который усиливает меридиональные океанические течения. Они усиливают эффект топографических вихрей в результате взаимодействия Южной ветви АЦТ с островами и различными формами рельефа дна.

На успешный процесс образования промысловых скоплений криля повышенной плотности в локальных круговоротах и меандрах вблизи островов определяющее положительное влияние в протекающем сезоне оказывает уже зональный тип атмосферной циркуляции и гидрометеорологические факторы.

Успешность промысла в текущем сезоне при сформировавшихся благоприятных условиях переноса повышенной концентрации криля (в конечном счете, его распределения) предопределено влиянию воздушных масс зонального

типа с высокой повторяемостью ветров западных и восточных румбов. Меридиональный перенос в атмосфере и в океане в течение длительного времени характерный для успешного пополнения запаса криля в подрайоне острова Южная Георгия и промысловые участки Южных Оркнейских островов.

ГЛАВА 5. ПРОМЫСЕЛ АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ В АТЛАНТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ АНТАРКТИКИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

5.1 Межгодовая динамика промысловых показателей антарктического криля в подрайонах Антарктического полуострова

В нашей работе для оценки состояния плотности скопления и изменения количественных параметров распределения криля на промысловых участках использовалась характеристика промыслового усилия — улов на час (УЧ, т/час). На данный показатель, как показала практика промысла, влияет фактор профессионализма экипажа и технического состояния судн. В сезон 2006 г. слаженность экипажа был выше, нежели в 2014–2017 гг. Одно бесспорно — столь высокие уловы криля на усилие в подрайоне Антарктического полуострова в 2006 г. в большой степени отражают его высокий локальный запас в результате динамического транспорта криля.

Сезон 2006 г. В подрайоне Антарктического полуострова на промысле криля особое место в историческом наблюдении имел сезон 2005/2006 гг. и, в частности, акватория пролива Брансфилд. Здесь в мае на участке между $62^{\circ}46'–63^{\circ}07'$ ю.ш., $057^{\circ}29'–059^{\circ}59'$ з.д. велся лов, который до середины мая локализовался примерно в 15 милях от северного побережья Антарктического полуострова. В дальнейшем постепенно смещался в западном направлении, в сторону острова Ливингстон. Промысловая обстановка была необыкновенно эффективна и проходила при доминирующим и продолжительным переносом воздушных масс ветров западных румбов.

Среднедекадные уловы за час траления составили: в первой декаде — 20,5; во второй декаде — 26,3; и в третьей декаде мая — 19,5 т. В итоге в мае 2006 г. уловы на единицу промыслового усилия составили в среднем 22,9 т/час, что максимально для судов типа РКТС для пролива Брансфилд за 2001–2017 гг. При этом уловы в светлое время суток в 2–3 раза превышали ночные, что крайне редко на промысле криля. Обычно эта суточная разница превышает эти величины.

Сезон 2014–2017 гг.

Март 2015, 2016, 2017 гг. Значения уловов на промысловое усилие колебались от 9,5 т/час (2015 г.) до 8,4 т/час (2017 г.) и в межгодовом плане имели наименьшую разницу (1,1 раза). Это свидетельствовало о неизменном распределении плотности агрегаций криля в проливе в конце лета вследствие стабильной горизонтальной миграции рачков с потоками океанических течений.

Апрель 2014, 2015, 2016, 2017 гг. Изменчивость УЧ с максимум 9,5 т/час в 2015 г. и минимум 6,6 т/час в 2016 г. еще раз подтверждает межгодовую изменчивость плотности скоплений рачков на участках промысла, на которых должны бы создаваться благоприятные условия для их аккумуляции.

Май 2014, 2015, 2016, 2017 гг. Минимум значения УЧ 7,9 т/час был в 2014 г., максимум 13,8 т/час — в 2016 г. Межгодовые колебания УЧ в 1,7 раз оказались наибольшими за четырехлетний период наблюдений. Хорошая промысловая обстановка в мае 2016 г. сложилась благодаря устойчивому влиянию зонального типа атмосферной циркуляции с преобладанием ветров западных румбов, определивших динамическую активность водных масс и поступление в западную часть пролива Брансфилд Циркумполярной глубинной водной массы (ЦГВМ) (Артамонов и др., 2003). Они и привнесли крупный криль, обусловив его скапливание и длительную аккумуляцию, чего не наблюдалось в предыдущие два сезона.

Июнь 2017 г. Впервые за четыре проанализированных сезона именно для этого месяца был получен результат уловов. Его средний показатель равнялся 9,95 т/час, что больше предыдущих месяцев, но близко к средним уловам в 2015, 2016 гг. Увеличение уловов на усилие в 1,4 раза по сравнению с апрелем произошло в результате работы судна на западном промысловом участке пролива Брансфилд в зоне модифицированных водах моря Беллинсгаузена и Фронта моря Уэдделла. Именно эти воды способствовали привнесению значительного количества молоди криля в сезон 2017 г., что свидетельствовало о наличии высокоурожайного поколения 2015 г. Данный факт, в сочетании с благоприятной

гидрометеорологической обстановкой, оказал положительное влияние на успешность промысла для подрайона 48.1 в сезон 2018 г. (SC-CAMLR, 2018).

Сезонная и межгодовая изменчивость уловов криля на единицу усилия связана с влиянием доминирующих водных масс и гидрологических фронтов, определяющих биологическую продуктивность промыслового района. Межгодовые изменения сезонных величин уловов на промысловое усилие (УЧ) имели колебания в диапазоне 1,1–1,7 раз (Рисунок 57).

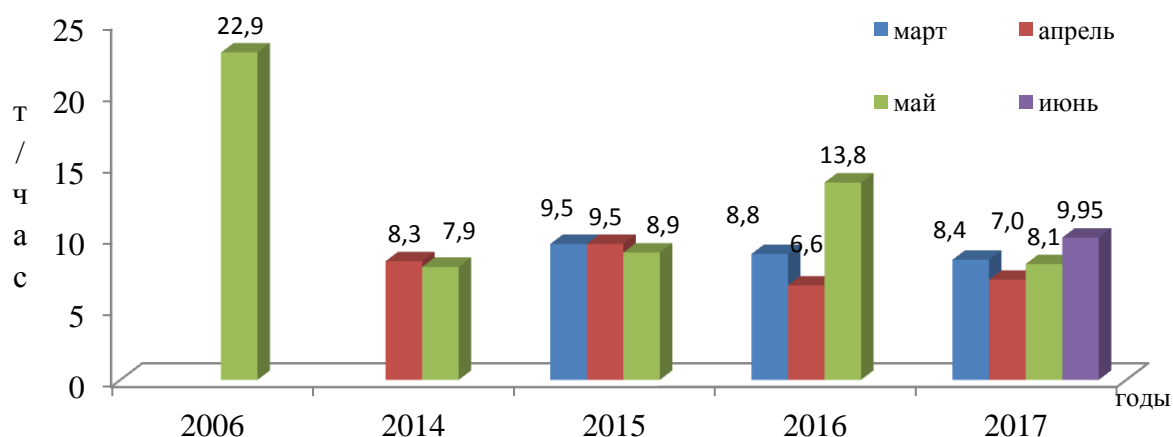


Рис. 57. Сезонная и межгодовая динамика уловов (т/час) антарктического криля в проливе Брансфилд в 2006, 2014–2017 гг.

Среднегодовые уловы на промысловое усилие 8,1–9,7 т/час находились в пределах величин, полученные за промысловый период 1989–2006 гг. до смены климатических эпох ($10,8 \pm 3,1$ т/ч) нежели 2007–2014 гг. после смены климатических эпох ($12,7 \pm 6,7$ т/ч) (Сологуб, 2016). Результат наших исследований, в сравнении с данными уловов криля до смены климатических эпох, доказывает о более объективном отражении промысловых показателей в подрайоне 48.1 благодаря использованию моделей тралов с традиционной схемой лова. Сравнение наших значений уловов на усилие с периодом после 2006 г., когда на промысел внедрились норвежские суда с непрерывным способом лова и уловами до 900 т за сутки, продемонстрировали существенные различия. В то же время, при сравнении данных двух периодов их показатели различались

недостоверно, что подтверждено значением критерия Стьюдента (t) — 1,09 (Сологуб, 2016). Однако средний улов за весь 30-летний период с 1984/1985 по 2013/2014 гг. составил $10,3 \pm 0,8$ т/ч (Сологуб, Бизилов, 2017), где наши значения уловов близки к указанным величинам.

Данные по уловам и усилию (CPUE) на промысле криля в подрайонах 48.1–48.3 за период 2000/2001–2016/2017 гг., учитывая снасти одной конструкции и тактики лова (Hill et al., 2016), указывают на некоторое соответствие между производительностью промысла и численностью криля. Вместе с этим следует принять данные С.М. Касаткиной (Kasatkina et al., 1997) о высокой пространственно-временной изменчивости водных масс и биомассы криля в результате перемещения как через пролив Брансфилд, так и за его границами, превышающая пороговый уровень и предохранительное ограничение на вылов в Районе 48 (Brierley et al., 2002). Рассмотренные нами пространственно-временные изменения размерного состава криля тесно сопряжено с океаническими течениями и переносом его в них. Это говорит о том, что понимание адвекции и пополнение криля жизненно важны для управления его промысла в рамках АНТКОМ. Присутствие или отсутствие криля в подрайоне в большой степени отражает динамику перемещения криля и не находится под воздействием промысла криля, даже на тех участках, где совокупное годовое потребление криля пингвинами и горбатыми китами больше, чем зарегистрированный постоянный запас (Trathan et al., 2019).

Таким образом, внутрисезонные и межгодовые колебания уловов на усилие определены волнообразным поступлением в пролив Брансфилд молоди криля из моря Уэдделла и крупных половозрелых особей, мигрирующих к местам нереста из моря Беллинсгаузена и вступающих в нерестовый и промысловый запас. В пользу этого свидетельствует значительное присутствие молоди в уловах на востоке пролива (до 61,8 %), а крупных рачков (74,1 %) — на западе. Во внимание следует принять многолетние наблюдения автора за промысловой динамикой уловов криля в водах Антарктики, включая подрайон 48.1, где на одних и тех же промучастках глубоководной части пролива Брансфилд, включая впадины,

происходила резкая смена обилия криля исчезновением, а затем — его присутствием. Причиной тому послужила смена гидрометеорологической ситуации, влияния ветровых условий, интенсивность доминирующих различных течений (Артамонов и др., 2003; Артамонов, 2005, Thompson et al., 2009; Dotto et al., 2016).

Результаты исследования о взаимосвязи абиотических факторов среды с биологией и уловами криля будут полезными для понимания рационального ведения лова с учетом временного и пространственного пополнения или выноса рачков на промысловых акваториях, в том числе при составлении прогноза вылова для промысловых организаций.

5.2 Прогнозы вылова антарктического криля, их оправдываемость

Практическая необходимость прогноза вылова антарктического криля для промысловых организаций с годовой и сезонной заблаговременностью обуславливает целесообразность оценки успешности его промысла в подрайонах 48.1, 48.2, 48.3. Реализация прогноза в АЧА может предоставляться по экстраполированным значениям солнечной активности с учетом зависящей от нее макромасштабной атмосферной циркуляции. В шельфовых зонах антарктических морей благодаря завихренности верхнего слоя вод создаются условия для удержания криля, а также его личинок и молоди (Бибик, Брянцев, 1993; Бибик и др., 1995). Сформулированная гипотеза о положительности урожайных поколений, образования промысловых скоплений криля, эффекте аккумуляции и удержании, и отрицательности — рассеивания и экспатриации в открытые воды Южного океана, получила свое подтверждение в ходе прямого эксперимента многосуточных наблюдений за смещением и трансформацией промысловых скоплений с одновременной регистрацией параметров гидроструктуры как косвенного показателя вихревых образований (Брянцев, Бибик, 1989).

Обилие криля чаще всего связывают с интенсивностью его переноса через пролив Дрейка. В море Скотия экспатриация рачков из шельфовой зоны морей Уэдделла и Беллинсгаузена и аккумуляция вблизи Южных Шетландских, Южных

Оркнейских островов и острова Южная Георгия обуславливает успешность промысла, при котором фактор переноса имеет гораздо большее значение, чем урожайность (Сушин и др. 1990). При дальнейших исследованиях рассматривалась опосредованная связь особенностей атмосферной циркуляции (АЦ) и промысловобиологических показателей криля, определенных макромасштабными полями течений, создаваемых различным типом приземного барического поля. С целью определения возможностей прогноза с заблаговременностью в несколько лет в процесс анализа был включен гелиофизический показатель — уровень солнечной активности в конкретном году (W — число Вольфа). Устойчивость выявленных связей отслеживалась с помощью адаптивной корреляции. К рассмотрению принимались коэффициенты с уровнем значимости не выше 5 % (Брянцев, 1998).

В обобщающей монографии Масленникова (2003) указывается, что межгодовые колебания биомассы криля не велики, а величина в каждом из трех подрайонов в общей мере определяется местной системой течений. Результаты анализа (Бибик, Брянцев, 2007) подтверждают это положение на основе присутствия прямой связи аномалии солнечной активности с уловами на усилии в подрайоне 48.1, а в подрайонах 48.2, 48.3 — обратной. Наличие индекса интенсивности зональной атмосферной циркуляции с модулем аномалии солнечной активности определяет интенсивность меридиональных атмосферных переносов (обратная связь с повторяемостью зональных), что способствует обилию и плотности скоплений криля в подрайоне 48.1 на «входе» потока из моря Беллинсгаузена в АЧА. Последний интенсифицирует топографический вихрь на шельфе Южных Шетландских островов и «скапливающий» эффект. Аналогичное воздействие в подрайоне 48.2, 48.3 создается, наоборот, зональным переносом, с возможным усилением циклонического круговорота вод моря Уэдделла и топографических вихрей у Южных Оркнейских островов и в районе острова Южная Георгия. Предложенная методика (Бибик, Брянцев, 2007) и результаты прогноза основного предикта — среднегодовой солнечной активности, экстраполяции скорости вращения Земли на основе периодичности и притяжения

уловов на усилие продемонстрировали ее достоверную оправдываемость в 2008–2010 гг.

Рассматривая популяцию криля, мы говорим о фактической оценке численности криля — это величина биомассы, промысловый запас, которые подвержены изменчивости между годами и в пределах одного года, в том числе и объективного обстоятельства, зависящего от наличия «пополнения» — процесса вхождения неполовозрелых особей во взрослую популяцию. Её уровень выражается как относительное пополнение, т. е. соотношение одно-, двухлетних рачков к более старшим. В абсолютном выражении длины тела — это криль, не превышающий 40–41 мм, когда самки не участвуют в процессе нереста. Поэтому используемый нами термин «пополнение» включал размерную структуру особей от минимального значения длины до 41,0 мм. Именно эта размерная группа была использована в размерной структуре при подготовке и написании прогноза вылова криля с годовой и двухлетней заблаговременностью для промысловых организаций, ведущих его промысел в водах АЧА.

Промысел и реализация прогноза за 2002 г. Для подрайона 48.2 анализ промысла в январе–мае 2002 г. представлен на основе работы двух судов БМРТ и одного РКТС. Общий показатель промысловых нагрузок для этих судов равен: БМРТ «*Форос*» — СРУЕ 12,9 т/час, 120 т с/с лова, БМРТ «*Феолент*» — 10,9 т/час, 68 т с/с лова, РКТС «*Конструктор Кошкин*» — 17,4 т/ час, 145,2 т с/с лова.

В январе, феврале успешно облавливался мелкий криль. В марте промысловые скопления с наличием крупного криля отличались от скоплений мелкого динамичностью, кратковременной агрегированностью. При усилении ветров южных румбов скопления распадались. В апреле, мае по сравнению с предыдущими месяцами произошло увеличение промысловой биомассы с 60 ± 20 тыс. т до 150 ± 50 тыс. т благодаря пополнению привнесенного с севера криля. Вследствие этого уловы на усилие увеличились в среднем до 17,9 т/час.

Подрайон 48.3. Промысел велся двумя судами типа БМРТ «*Форос*» и «*Феолент*» с 10 июня по 3 сентября 2002 г. Следует сразу отметить высокие уловы на усилие (т/час) и судо-сутки лова, которые впервые здесь были

зафиксированы за все годы советского и украинского крилевого промысла, включая 2001 г. (14,2 т/час). Так, БМРТ «*Форос*» имел показатели 19,2 т/час и 136 т с/с лова, а «*Феолент*» 16,8 т/час и 79,7 т с/с лова. Сырьевая база недоиспользовалась из-за недостаточной мощности судов по переработке криля-сырца и различии ассортимента выпускаемой продукции. В результате уловы на СРИЕ были близки, в то время как суточные уловы разнились до 50–60 т.

Таким образом, согласно уточненному прогнозу вылова оправдались квартальные величины возможных уловов на судо-сутки лова для судов типа БМРТ и РКТС (Таблица 12).

Если во всех перечисленных выше случаях отклонения были со знаком «плюс», то в подрайоне 48.2 средние суточные уловы во втором квартале оказались ниже прогнозируемых (в среднем на 10 %) несмотря на исключительно благоприятную промысловую обстановку и высокие уловы СРИЕ. Причины недоиспользования сырьевой базы криля изложены выше.

Таблица 12

Оправдываемость квартальных прогнозов вылова криля для судов типа БМРТ на 2002 г.

Подрайон	Квартал	Прогноз вылова на с/с лова, т	Фактический среднесуточный вылов за квартал, т	Отклонение от прогноза, %
48.2	I	120±10	128	7
	II	125±10	112	-10
	III	120 (июнь)	130	8
	IV	120±10	137	14

Реализация прогноза вылова на сезон 2001/2002 гг. для подрайона 48.2 стала возможной благодаря высокоурожайному поколению 2000 г., которое в январе–марте было доминирующей размерной группой до 41 мм (годовой класс 2+) в количестве свыше 70 %, для подрайона 48.3 — отсутствию репатриации криля, увеличению его длины в среднем на 4–5 мм и приросту биомассы.

Прогноз возможного улова на 2003–2004 гг. Состояние доступного запаса криля в приостровной зоне подрайона 48.2 ожидалось благоприятным, особенно в 2003 г. Основанием для этого, в первую очередь, является факт его высокого пополнения в 2001 г. урожайным поколением 2000 г., которое благодаря слабой экспатриации личинок и молоди криля из центрально-западной части моря Скоша, как это имело место, обусловило значительное увеличение биомассы рачков на промучастках в 2002 г. В 2003 г. криль этого поколения будет составлять основу промыслов, в результате сырьевая база криля прогнозировалась весьма благоприятной. Средние уловы на судос-сутки лова для судов БМРТ в первом квартале составят 120–140 т в сутки, во втором квартале — 100–130 т, для РКТС — 140–160 т и 130–150 т, соответственно.

В 2004 г. величина промыслового запаса криля в подрайоне 48.2 определялась наличием поколения 2001 г., а состояние промысловой обстановки — величиной на уровне среднесноголетнего значения. Для подрайона 48.3 в 2003 и особенно в 2004 гг. значительных отклонений уловов от среднесноголетних значений не ожидалось (Таблица 13).

Промысел и реализация прогноза за 2003 г.

Для подрайона 48.2 результаты промысла представлены на основе работы трех судов: двух БМРТ и одного РКТС. Следует сразу отметить аномально холодный летний сезон этого года у Южных Оркнейских островов. Средняя ТПО в апреле оказалась ниже ее значения 2002 г. и климатической нормы на 1,5 °С, что обусловило необычно раннее для последних лет закрытие льдами промучастков в середине мая. В 2002 году это произошло в конце июня, в 1999 г. — в конце июля. Неблагоприятные гидрометеорологические и ледовые условия в летний сезон 2003 г. оказали негативное влияние на ход промысла и продолжительность нахождения судов в подрайоне 48.2. Для судов типа БМРТ следует отметить, что в 2003 г. выпуск кормовой продукции из криля по сравнению с 2002 г. снизился и соответственно — уменьшился вылов. Большая часть улова направлялась на производство пищевой продукции — консервов и мяса бланшированного.

Прогноз возможного улова криля на судо-сутки лова (т) на 2004 г.

Подрайон	Типы судов	Квартал		
		I	II	III
48.2	БМРТ «Форос»	110–130	110–130	
	БМРТ «Феолент»	70–90	60–80	
	РКТС	130–160 (март)		
48.3	БМРТ «Форос»		100–120 (июнь)	100–130
	БМРТ «Феолент»		70–90	60–90
	РКТС		120–140	120–150

Анализируя результаты промысловой деятельности судов БМРТ и РКТС за 2002 и 2003 гг. было выявлено, что уловы РКТС более объективно отражали промобстановку. Количество постановок тралов у РКТС за сутки более, чем вдвое превышало аналогичные показатели БМРТ. Таким образом, промысловая деятельность судна РКТС послужила индикатором состояния промыслового запаса и реализации прогноза 2002 г.

Итог работы судна типа РКТС за период с 30 марта по 7 мая показал наличие высоких уловов СРУЕ 22,5 т/час и 163,3 т с/с лова, что абсолютно совпало с прогнозом 2002 г. для этого типа судов. Показатели были достигнуты благодаря увеличению промыслового запаса по сравнению с 2002 г. за счет высокого пополнения криля поколения 2001 г. и его прироста. Основу запаса составляли особи трех поколений, предположительно 2001, 2000 и 1999 гг. рождения.

В целом промысловая обстановка в подрайоне 48.2 характеризовалась как благоприятная. Среднее значение уловов за судо-сутки лова для каждого из этих месяцев примерно на 10 % превышало их среднемноголетние значения, рассчитанные по данным РКТС за период с 1988 по 2002 г. Отрицательный момент промыслового сезона 2003 г. — вынужденное прекращение промысла в конце первой декады мая из-за наступления гидрологической зимы и закрытия льдами акватории промучастков.

Для подрайона 48.3 для судов БМРТ в период с мая до середины сентября промысел развивался преимущественно на северо-восточном участке. Это впервые нарушило наблюдаемую раньше картину изменения географии промысла, начиная с июля, отражая миграцию криля в системе прибрежного течения в западном направлении. Средний показатель CPUE колебался от 10 до 29 т/час и в среднем равнялся 19,6 т/час. Уловы на судо-сутки лова были в интервале 71–96 т с/с лова, в среднем 74,1 т с/с лова.

Для судов РКТС уловы на усилие за период с 25 мая по 16 июня составили 25 т/час и 180 т за судо-сутки лова.

Таким образом, прогнозируемые величины уловов в зимний период 2003 г. для района острова Южная Георгия абсолютно оправдались. Биомасса криля в скоплениях на северо-восточном участке по трем оценкам, выполненным в мае и в первой половине июня, находилась в пределах 150–210 тыс. т и была близка по величинам в 1995 г. Многолетние данные по промыслу криля в подрайоне 48.3 в 2003 г. позволили охарактеризовать промобстановку на уровне 1992 г. — одного из самых благоприятных. Высокая плотность и устойчивость скоплений, преобладание в уловах аномально крупного криля модой 47–49 мм, дали основание оценить сырьевую базу как исключительно благоприятную.

Оправдываемость суточных уловов РКТС прогнозируемые для 2003 г. в подрайоне 48.2 оказались выше на 15–19 %. В подрайоне 48.3 обстановка ожидалась на среднем многолетнем уровне с уловами за судо-сутки лова во втором квартале 120–140 т (для судов РКТС). Фактически средний улов в июне составил 165 т, отклонение от прогноза +27 % (Таблица 14). В третьем квартале реальные уловы, прогнозируемые для БМРТ, оказались в пределах +10–30 %. Прогноз полностью оправдался.

Следует отметить, что в подрайоне 48.3 прогнозируемое преобладание в уловах во втором квартале 2003 г. среднеразмерного криля не было отмечено. В действительности, в мае–июне основу составлял крупный криль. Приток мелкого криля в приостровную зону, вопреки прогнозу, оказался незначительным. Не

оправдалась общая схема миграции промскоплений рачков, что также необычно для этих лет.

Таблица 14

Оправдываемость квартальных прогнозов вылова криля судов РКТС на 2003 г.

Подрайон	Квартал	Прогноз вылова на с/с лова, т	Фактический среднесуточный вылов за квартал, т	Отклонение от прогноза, %
48.2	I (март)	150	172	15
	II (апрель)	140	166	18
	III (май)	120	143	19
48.3	II (июнь)	130	165	27

Проявившиеся выше обозначенные аномальные ситуации лежат в особенностях атмосферной циркуляции над островом Южная Георгия и регионом в целом. Исследования международной учетной съемки 2000 г., в том числе и в подрайоне 48.3, показали доминирующую роль антициклонического круговорота вод в формировании промзапаса криля, как аккумулирующего фактора. В этом году гидродинамические условия, благоприятствующие скапливанию криля, сохранялись, по крайней мере, до середины сентября — срока завершения промысла.

В подрайоне 48.1 перспективы промысла на 2003 г. прогнозировались менее благоприятными по сравнению с другими подрайонами и рекомендовались в качестве резервного на случай ухудшения ледовых условий у Южных Оркнейских островов. Фактические уловы судов в сутки составили 60 т, что составило отклонение от прогноза минус 10 %. Оправдался прогноз по размерному составу мелкого и среднеразмерного криля.

Прогноз возможного улова на 2004–2005 гг. Для подрайонов 48.1, 48.2 в 2004 г. прогнозировался благоприятный промысел, учитывая биологические и океанологические предпосылки. Основу промзапаса составят рачки урожайного поколения 2001 г. длиной более 45 мм. Суточные нагрузки для судов БМРТ 80–100 т, РКТС 150–170 т в первом квартале и 130–160 т во втором. В подрайоне 48.3

произойдет существенное уменьшение величины промзапаса в связи с малым пополнением в 2003 г. и высокой естественной смертности старшей возрастной группы в первой половине 2004 г. В результате этого прогнозировалась в данном подрайоне слабая промобстановка с уловами 50–70 т за судо-сутки лова для БМРТ и 90–120 т для РКТС.

В 2005 г. промобстановка во всех подрайонах АчА прогнозировалось на среднемноголетнем уровне. Значения уловов на усилие для судов разных типов приведены в Таблице 15.

Таблица 15

Прогноз возможного улова криля на судо-сутки лова (т) на 2005 г.

Подрайон	Типы судов	Квартал		
		I	II	III
48.1	БМРТ		120–140	
	РКТС	90–110	80–100	
48.2	БМРТ	80–100	70–90	
	РКТС	130–150 (март)	120–140	
48.3	БМРТ		90–110	70–100
	РКТС		130–150	120–140

Промысел и реализация прогноза за 2004 г.

Для подрайона 48.2 ход промысла и реализация прогноза вылова представлен на основе работы судна РКТС «Конструктор Кошкин» на традиционных для этого типа судов у Южных Оркнейских островов – с 15 марта по 25 апреля и у Южной Георгии — с 18 мая по 18 июня 2004 г. В расчет были приняты данные международного научного наблюдателя на борту РКТС «Тор Осеан» (США) в подрайоне 48.2 с 24 марта по 15 мая (с перерывами), в подрайоне 48.1 — с 30 марта по 10 апреля и с 28 мая по 2 июня; в подрайоне 48.3 — с 8 июня по 2 августа 2004 г. (с перерывами).

Промысел в летне-осенний сезон 2004 г. оказался сложным из-за большого количества айсбергов длиной 50–800 м. Скопление огромной массы льда на акватории шельфа и материкового склона в течение всего летнего сезона явилось

причиной слабого прогрева вод; среднемесячные ТПО были ниже климатической нормы – на центральном участке (средние координаты 60°25′ ю.ш., 46°30′ з.д.) на 1,0–1,5 °С (при значительно меньшей разнице значений температуры воздуха). Это, как и в 2003 г., ускорило образование ледового покрова осенью. Район промысла оказался полностью закрыт льдом уже 18 мая – почти на полтора месяца раньше, чем в 2002 г.

Промысел в летне-осенний сезон 2004 г. оказался сложным из-за большого количества айсбергов длиной 50–800 м. Скопление огромной массы льда на акватории шельфа и материкового склона в течение всего летнего сезона явилось причиной слабого прогрева вод; среднемесячные ТПО были ниже климатической нормы — на центральном участке (средние координаты 60°25′ ю.ш., 46°30′ з.д.) на 1,0–1,5 °С (при значительно меньшей разнице значений температуры воздуха). Это, как и в 2003 г., ускорило образование ледового покрова осенью. Район промысла оказался полностью закрыт льдом уже 18 мая — почти на полтора месяца раньше, чем в 2002 г.

Сырьевая база криля в марте–мае 2004 г. была благоприятна для промысла по всем показателям. Величина промысловой биомассы в апреле 2004 г. в условиях благоприятной динамики вод и интенсивного притока рачков у Южных Оркнейский островов одновременно с айсбергами и их слабой экспатриацией за пределы района, была оценена в 400 тыс. т. Основу запаса криля составляли урожайные поколения 1999/2000 и 2000/2001 гг. Плотные и устойчивые скопления криля обеспечивали исключительно хорошую промобстановку до конца апреля. Уловы на усилие РКТС составили: в марте — 35,1 т/ч и 205,7 т с/с лова, в апреле — 31,8 и 203,9, соответственно. Таких успешных уловов за 1 час траления в этом подрайоне никогда ранее не достигалось, как и среднего количества тралений в сутки — 20,4.

В мае в связи с появлением ледовых полей на западном промысловом участке судно сместилось северо-восточнее при наличии благоприятной промобстановки — 21,2 т/час и 163,7 т с/с лова и отсутствии разницы между уловами в светлое и темное время суток, обычно наблюдавшиеся в мае.

Уловы РТМС в первой декаде мая, по сравнению с апрелем, ухудшились из-за штормовой погоды. Средние за этот период показатели CPUE составили 13,3 т/час и 130 т с/с лова. В уловах доминировал крупный криль с модальным классом 45–49 мм.

В подрайоне 48.3 лов криля в многолетнем плане в мае–июне (иногда и в июле) осуществлялся на северо-восточном участке между $53^{\circ}40'–54^{\circ}10'$ ю.ш., $035^{\circ}30'–036^{\circ}00'$ з.д. В 2004 г. промысел на этом участке оказался невозможным из-за присутствия огромного айсберга и его обломков, оккупировавших большую часть промыслового участка. Айсберг имел длину 78 км и 30–40 км в ширину. За 3 месяца, в течение которых он наблюдался судами, его местоположение не изменилось. Появление айсберга таких размеров в зоне шельфа и материкового склона у северного побережья острова зафиксировано впервые за 35-летний период промысла криля в этом подрайоне.

Суда, столкнувшиеся в начале мая с необычной навигационной ситуацией, вызванной образованием ледяного поля на северо-восточном участке, были вынуждены вести лов криля на центральном участке (к северу от острова между $036^{\circ}28'–036^{\circ}55'$ з.д.), в июне — на западном ($038^{\circ}30'–039^{\circ}12'$ з.д.).

В 2004 г. в подрайоне 48.3 произошло существенное уменьшение промыслового запаса криля по сравнению с 2002 и 2003 гг. Основная причина — отсутствие пополнения молодь в 2003 г., а зафиксированные в 2004 г. двухлетние рачки не восполнили естественной убыли старшей возрастной группы — урожайного поколения 1998/1999 гг.

В результате среднемесячные уловы РКТС составили: в мае 12,3 т/час и 143,0 т с/с лова, в июне — 15,0 т и 162,8 т, соответственно. Начиная с третьей декады июля, промысловая обстановка на западных участках ($037^{\circ}16'–039^{\circ}11'$ з.д.) начала заметно ухудшаться. По данным РТМС CPUE средние уловы за период 23 июня по 19 июля составили всего 5,7 т/час и 69 т с/с лова. С 20 июля и до конца промысла — 2 августа судно работало на центральном участке ($035^{\circ}56'–036^{\circ}35'$ з.д.) с большими уловами, но и здесь промобстановка оставалась неудовлетворительной для рентабельной работы судна.

Основу улова в мае–июне составлял мелкий криль средней длины 38,0–38,5 мм, а более 43 мм — не превышал 10 % (в 2003 г. — в среднем 80 %). Наличие мелкого криля негативно повлияло на результативность промысла судов, возможно даже в большей степени, чем малая величина промысловой биомассы. По мнению специалистов по добыче РКТС предположительно большая часть обловленного криля просеивалась через траловый мешок, травмировалась и погибла. На РТМС его процент был еще выше, учитывая более крупный размер мелкочейной вставки тралового мешка.

Суммируя вышесказанное, мы констатировали, что сырьевая база криля и промобстановка у о-ва Южная Георгия в зимние месяцы 2004 г. была неудовлетворительна.

В подрайоне 48.1 — наиболее обширном подрайоне промысла криля в АЧА, на акватории пролива Брансфилд непродолжительное время (1–10 апреля) работало одно судно РТМС. Траления выполнялись на юго-западной части пролива, где средний улов за первую декаду апреля составил 17,1 т/час и 92 т с/с лова. Преобладал мелкий криль средней длиной 38,6 мм. Его размерная структура была аналогична крилю, который облавливался у Южной Георгии.

Оправдываемость прогноза 2004 г. Для подрайона 48.2 по сравнению с 2003 г. прогнозировалось увеличение промыслового запаса криля, его средней длины и, как следствие — улучшение промобстановки. Прогноз полностью оправдался. Уловы для судов РКТС, средние за март–апрель, прогнозировались на уровне 160 т за с/с лова. Фактический средний улов РКТС за указанный период составил около 200 т, что более 25 % от прогноза.

В подрайоне 48.3, напротив, ожидалось уменьшение промзапаса, что и произошло. Средний вылов РКТС за судно-сутки лова в мае–июне прогнозировался 130 т, фактический — 155 т. Оправдываемость прогноза +20 %. Прогноз вылова для судна БМРТ, выпускающий однотипный вид продукции с РТМС, не оправдался и составил фактически 76 т с/с лова, что на 24 % меньше от прогнозированной величины.

Прогноз возможного улова на 2005–2006 гг. Несмотря на большие объемы допустимого вылова (ОДУ), многократно превышающие современный уровень мирового промысла криля (120–300 тыс. т в год), следует иметь в виду, что рентабельный его лов в АЧА возможен только в приостровных зонах на отдельных участках шельфа и материкового склона. Суммарная площадь таких участков составляет менее 1 % площади перечисленных выше подрайонов. Так акватория подрайона 48.2, в пределах которой может быть добыто 1,2 млн т криля, равняется 0,85 млн км², а площадь продуктивных по его обилию участков у Южных Оркнейских островов — 1,0–1,5 тыс. км² (с учетом потенциально-продуктивных) — 2,5–3,0 тыс. км². Поэтому для рыбопромысловых организаций важно знать не величину лимита вылова для каждого подрайона, а какое количество криля реально можно выловить в промрайонах и будет ли промысел рентабельным, учитывая большие межгодовые колебания промыслового запаса рачков. Разработка соответствующих рекомендаций являлась приоритетной задачей исследований.

Перспективы промысла в 2005 и 2006 гг. с учетом прогноза вылова для судов РКТС и БМРТ были представлены следующими. У Южных Шетландских и Южных Оркнейских островов в ближайшие два года ожидалось снижения запаса криля по причине слабого урожайного пополнения рачками 2003 г. Низкая численность этого поколения не компенсирует естественную убыль криля высокоурожайного поколения 1999/2000 гг. после его нереста в начале 2005 г. Поэтому промобстановка и уловы в 2005 г. окажутся существенно ниже 2004 г. и будут соответствовать среднемноголетнему уровню. В 2006 г. прогнозировалось дальнейшее уменьшение уловов криля из-за низкоурожайного поколения 2004 г. (Таблица 16).

В подрайоне 48.3 в 2005, 2006 гг., напротив, ожидалось увеличение промзапаса и улучшение обстановки благодаря пополнению в начале 2004 г. Уловы в 2005 г. достигнут близкого к среднемноголетнему уровню, а в 2006 г. — выше среднемноголетнему (Таблица 16). В 2005 г. основу уловов будет составлять среднеразмерный криль (40–45 мм), в 2006 г. — крупный более 45 мм.

Прогноз возможного улова криля на судо-сутки лова (т) на 2005–2006 гг.

Подрайон	Типы судов	Квартал		
		I	II	III
48.1	БМРТ	$\frac{70-90}{60-80}$	$\frac{60-90}{50-70}$	
	РКТС	$\frac{120-140}{110-130 \text{ (март)}}$	$\frac{100-140}{90-120}$	
48.2	БМРТ	$\frac{80-100}{70-90}$	$\frac{60-100}{50-80}$	
	РКТС	$\frac{130-150}{120-140 \text{ (март)}}$	$\frac{110-150}{100-130}$	
48.3	БМРТ		$\frac{90-110}{100-120}$	$\frac{50-90}{60-100}$
	РКТС		$\frac{140-160}{150-170}$	$\frac{120-140}{130-150 \text{ (июль)}}$
Примечание: в числителе — значения уловов в 2005 г., в знаменателе — в 2006 г.				

Прогноз уловов криля на 2005 г, подготовленный в 2003 г., не потребовал внесения в него изменений после обработки научных данных 2004 г. Уточнение прогноза на 2006 г. было сделано в 2005 г. на основании анализа научных материалов, собранных наблюдателями на промысловых судах в первой половине 2005 г.

Промысел и реализация прогноза за 2005 г. Анализ промысла криля проведен на основе данных трех судов: одного РКТС и двух БМРТ. РКТС работал в подрайоне 48.2 с 10 марта по 24 апреля и с 11 по 17 мая, в подрайоне 48.3 — с 23 мая по 22 июня. БМРТ «Феолент» вел промысел в подрайоне 48.2 с 3 по 6 мая, в подрайоне 48.1 — с 7 по 19 мая и в подрайоне 48.3 — с 23 мая по 3 августа. БМРТ «Форос» осуществлял лов в двух подрайонах — 48.1 с 10 по 17 мая и 48.3 — с 24 мая по 18 августа.

В подрайоне 48.2 промысел велся на нескольких участках приостровной зоны между 60°15'–60°40' ю.ш., 045°50'–047°00' з.д. Температурные, ледовые условия и атмосферные переносы в районе Южных Оркнейских островов в период с марта по май 2005 г. оказались близки среднесноголетним значениям. Навигационные условия плавания в марте–апреле 2005 г. были благоприятными, а в мае, начиная

со второй декады, резко ухудшились в связи с поступлением на глубоководные участки промрайона полей дрейфующего льда и льдообразования в прибрежной зоне; РКТС был вынужден прекратить промысел у Южных Оркнейских островов 18 мая.

Промысловые скопления криля в сезон 2005 г. располагались к западу, северо-западу от острова Коронейшен по склонам Малого и Большого Каньонов и на мелководном участке между ними. Величина промысловой биомассы на этих участках в апреле 2005 г. составила 300 тыс. т, что на 100 тыс. т меньше, чем за аналогичный период 2004 г.

Среднемесячные показатели работы РКТС в подрайоне 48.2 составили: в марте 22,2 т/час и 204,7 т с/с лова, в апреле — 23,8 и 206,2 т, в мае — 17,0 и 187 т, что в 1,5 раза ниже показателей 2004 г. Однако улов за судно-сутки лова сохранился на уровне прошлого года, а в апреле оказался даже выше: в 2004 г. судно способно было переработать за сутки 180–200 т. криля. Фактически в марте–апреле суточный улов достиг 250 т в сутки за счет исключительного благоприятного состояния сырьевой базы объекта и модернизации мукомольного оборудования, что увеличило возможности суточной переработки криля-сырца за счет его интенсификации.

Таким образом, если в 2004 г. сырьевая база криля недоиспользовалась, то в 2005 г. уловы за судно-сутки лова оказались близки к максимальным возможностям переработки, реально отражали состояние сырьевой базы и наличия в уловах крупного криля модальной длины 45–51 мм.

Высокие уловы криля и его благоприятные для выпуска продукции характеристики — размерный состав, цвет печени, состояние карапакса, отсутствие в прилове сальп — позволили охарактеризовать сырьевую базу этого объекта в подрайоне 48.2 в 2005 г. на уровне выше среднемноголетней.

В подрайоне 48.3. указанные типы судов работали на северо-восточном и центральном участках прибрежной зоны между $035^{\circ}25'$ – $037^{\circ}00'$ з.д. Гидрометеорологические условия в подрайоне 48.3 в период работы судов с мая по август были благоприятны. Среднемесячные значения температуры воды

понизились от 1,8 °С в мае до 0,1 °С в первой половине августа. Наиболее заметное ее понижение наблюдалось в июле–августе из-за затока в приостровную зону холодных уэдделломорских вод вместе с мелким крилем. В 2005 г. гигантский айсберг, наблюдаемый в 2004 г. — отсутствовал.

Промысловая обстановка в подрайоне о. Южная Георгия в 2005 г. была хуже, нежели в подрайоне 48.2, но лучше, чем в 2004 г. В мае средние показатели вылова на усилие РКТС составили 14,3 т/час и 173,6 т с/с лова, в 2004 г. — соответственно 12,3 и 143 т. Данные по уловам БМРТ «Форос» свидетельствуют о том, что от мая к июлю наблюдалось улучшение промобстановки. Ухудшение произошло лишь в августе. Сравнение среднемесячных уловов этого судна за час траления в июне и июле с данными за аналогичный период 2004 г. показало, что в текущем году уловы были выше в среднем в полтора раза: 11,2 т/час в 2005 г. и 7,0 т/час в 2004 г.

Основу уловов в подрайоне 48.3 в мае–июне составляли рачки, имевшие среднюю длину 39,2 мм и массу 0,42 г. В последующем эти показатели уменьшились до 38,3 мм (0,38 г) в июле и 37,2 мм (0,35 г) в августе. Самый мелкий криль (34,8 мм и 0,28 г) облавливался в августе на северо-восточном промысловом участке.

В подрайоне 48.1 промысловые работы двух БМРТ на участке к северо-западу от острова Ливингстон в мае на протяжении 13 суток показали неудовлетворительное состояние промыслового запаса криля. Средний показатель СРУЕ составил 4,7 т/час и 31,5 т с/с лова. В уловах преобладал среднеразмерный криль длиной 46,3 мм и массой 0,69 г.

Оправдываемость прогноза 2005 г. Согласно прогнозу на 2005 г. в подрайонах 48.1, 48.2 ожидалось ухудшение сырьевой базы криля по сравнению с 2004 г. Основанием для такого заключения послужило слабое пополнение промыслового запаса криля поколения 2002 г. из морей Беллинсгаузена и Уэдделла.

Для подрайона 48.2 прогноз оправдался, что подтверждено результатами работы судов. Средний улов РКТС за 1 час траления в марте–апреле 2005 г.

составил 23 т, за аналогичный период 2004 г. — 33 т. Средний вылов за судосутки лова за март-апрель в сравниваемые годы оказался одинаковым — 205 т. Оправдываемость прогноза вылова криля за судосутки лова была на 27 % больше прогнозируемой величине. Оправдался прогноз по размерному составу криля.

Анализ работы судов за 2004 и 2005 гг. позволил сделать выводы о том, что пользователей прогнозов надлежит ориентировать на величину ожидаемого улова за час траления, как более объективно отражающего состояние промысловой обстановки по сравнению с величиной вылова за судосутки лова. Последний определяется не только состоянием сырьевой базы, но и возможностями его переработки.

В подрайоне 48.3 в 2005 г., напротив, ожидалось улучшение промобстановки в сравнении с 2004 г. и увеличение уловов до уровня среднемноголетних значений. Оправдываемость прогноза перспектив промысла у острова Южная Георгия за период с мая по август 2005 г. рассчитывалась по данным БМРТ «Форос». Средний вылов за судосутки лова для этого типа судов на второй квартал прогнозировался 100 т. Фактический средний вылов за май-июнь оказался равным 65 т. Отклонение на минус 35 % было вызвано проблемами переработки сырья, которые имели место на БМРТ «Форос» и, особенно, «Феолент». В третьем квартале (июль–август) средний вылов БМРТ «Форос» за судосутки лова составил 70 т. Эта цифра полностью совпала с величиной, которая давалась в прогнозе. Для всего периода промысла суда БМРТ у острова Южная Георгия имели отклонение минус 20 % от прогнозируемого вылова за с/с лова.

Прогноз возможного улова на 2006–2007 гг. Прогноз величины возможного улова криля на усилие в 2006, 2007 гг. представлен для подрайонов 48.2, 48.3.

В подрайоне 48.2 в ближайшие два года состояние сырьевой базы криля ожидалось на среднем многолетнем уровне. В 2005 г. ожидаемое заметное ухудшение сырьевой базы криля и снижение суточных уловов до 130–150 т. в марте и 110–150 т. в апреле–мае, оправдалось. Данные научных наблюдателей в 2005 г. позволили скорректировать этот прогноз. Выяснилось, что доля рачков поколения 2003 г. в общем запасе криля у Южных Оркнейских островов в 2005 г.

оказалась выше, чем мы предполагали год назад. Учетная съемка немецких специалистов 2004 г. показала невысокую численность молоди криля в возрасте одного года. В этом контексте возможно два сценария протекания промысла криля — оптимистичный и пессимистичный. В первом варианте в 2006 г. уловы РКТС в марте–апреле могут составить 19–21 т. за час траления и 170–190 т. за судо-сутки лова. В 2007 г. ожидалось незначительное ухудшение промобстановки и снижение уловов до 18–20 т/час и 160–180 т с/с лова (Таблица 17).

Таблица 17

Прогноз возможного улова криля на судо-сутки лова (т) на 2006–2007 гг.

Подрайон	Тип судна	Кварталы		
		I	II	III
48.2	РКТС	$\frac{170-190}{160-180}$	$\frac{160-180}{150-170}$	—
	БМРТ	$\frac{80-100}{70-90}$	$\frac{60-90}{50-80}$	—
48.3	РКТС	—	$\frac{160-180}{170-190}$	$\frac{150-170}{160-180}$
	БМРТ	—	$\frac{80-100}{90-110}$	$\frac{60-90}{70-100}$
Примечание: в числителе приводятся значения уловов в 2006 г., в знаменателе — 2007 г.				

Преобладающие размеры криля в уловах составят 40–45 мм в 2006 г. и 45–50 мм в 2007 г. Во втором случае — существенное снижение промзапаса криля из-за отсутствия пополнения рачками на акватории промучастков у о-ва Коронейшен и или их вынос за её границы.

В подрайоне 48.3 в 2006, 2007 гг. промысловая обстановка ожидалась на уровне 2005 г., возможно, лучше (Таблица 17). В уловах в 2006 г. предполагалось преобладание криля средней длины 41–43 мм, в 2007 г. — среднеразмерный со значительной долей крупного длиной более 47 мм.

Промысел и реализация прогноза за 2006 г. Ход промысла и его реализация стали возможны благодаря работе одного РКТС «Конструктор Кошкин» в подрайонах 48.2, 48.1. Промысел у Южных Оркнейских островов велся с 22

февраля до 11 марта и прекратился из-за неблагоприятной промысловой обстановки.

В подрайоне 48.2. в феврале–марте 2006 г. биомасса агрегированного криля и его уловы оказались самыми низкими за последние 5 лет (2002–2006 гг.). Скопления криля разной плотности наблюдались в основном в Малом каньоне и прилегающей к нему акватории между $45^{\circ}55'–46^{\circ}07'$ з.д. Промысловая биомасса криля на этом участке площадью 48 км^2 была оценена в 16 тыс. т, средняя поверхностная плотность — 330 г/м^2 в слое 0–100 м. В 2004 и 2005 гг. эти показатели составили соответственно 36,5 и 900; 23,5 тыс. т и 545 г/м^2 . Но важно другое. Биомасса рачков в таких небольших, но привлекательных для котиков и пингвинов участках в районе Малого каньона, периодически пополняется в результате миграции криля из сопредельных участков прибрежной зоны, иногда океанической. Поэтому, несмотря на небольшую величину в начале летнего сезона, активное поедание криля хищниками и изъятие промыслом в последующие летние месяцы от января к апрелю свидетельствует, что величина биомассы видно не уменьшается, а в некоторые годы даже увеличивается, как, например, в 2002 г.

Известно, что основная масса агрегированного криля у Южных Оркнейских островов сосредоточена обычно (в многолетнем плане) на участке между $60^{\circ}20'–60^{\circ}40'$ ю.ш., $46–47^{\circ}$ з.д., расположенном между островами Инаксессибл и Коронейшен. Площадь этого традиционного района промысла криля составляет 1200 км^2 . В 2004 г. промысловая биомасса криля в его пределах составила 262 тыс. т, средняя поверхностная плотность 920 г/м^2 ; в 2005 г., соответственно 196 тыс. т и 710 г/м^2 . В 2006 г. промысловые скопления криля здесь в феврале и марте отсутствовали и по экспертной оценке их биомассы составили порядка 15 тыс. т. Здесь, в отличие от прошлых лет, практически не наблюдались пингвины, морские котики, что свидетельствует о неудовлетворительном состоянии кормовой базы.

За период с 22 февраля по 11 марта средние значения CPUE были: 11,4 т/час и 135 т/с/с лова (Таблица 18). Ниже для сравнения эти показатели (средние за март)

приводятся для других лет: 2002 г. — 15,4, 132,5; 2003 г. — 22,2, 172,7; 2004 г. — 35,1, 205,7; 2005 г. — 22,5 т/час, 204,7 т с/с лова.

Таблица 18

Результаты промысла криля РКТС в подрайоне 48.2 и 48.1 в 2006 г.

Периоды работы	Подрайон	Улов на час траления, т	Вылов за с/с лова, т
Февраль	48.2	11,5	132,8
Март	48.2	11,4	135,8
Итого по подрайону 48.2		11,4	134,8
Март	48.1	17,4	202,0
Апрель	48.1	15,0	178,4
Май	48.1	21,3	229,2
Итого по подрайону 48.1		17,7	202,2
ВСЕГО:		16,3	187,6

Особенностью распределения криля в прибрежной зоне к северу от Южных Оркнейских островов в 2006 г. была интенсивная экспатриация рачков в предшествующий весенний сезон. Скопления, в т.ч. непромысловые, сохранились к началу промысла лишь на участках, относительно защищенных от южных (выносных) ветров и течений.

В подрайоне 48.1 у Южных Шетландских островов и в проливе Брансфилд промысел осуществлялся с 14 марта по 26 мая. Последовательность перехода РКТС из одного промыслового участка на другой практически полностью совпала со схемой, отработанной иностранными (в основном японскими) судами в прошлые годы. Обычно с января по март крилевый промысел велся у острова Мордвинова (к северу и западу от него). Затем после снижения уловов или появления в них в качестве прилова сальпы, суда смещались южнее, к острову Кинг Джордж и острову Ливингстон. В середине мая промобстановка здесь резко ухудшалась, и флот переходил в пролив Брансфилд, где работал до начала льдообразования.

У острова Мордвинова РКТС вел промысел с 14 по 20 марта на северном участке над глубинами от 120 до 800, где были высокие и стабильные уловы

крупного криля средней длины 49,5 мм составили 21,2 т за час траления и 243,0 т за судо-сутки лова (Таблица 19).

У острова Ливингстон с 22 марта по 5 мая РКТС работал на нескольких участках шельфовой зоны, расположенных к северо-западу, западу и юго-западу от него. Промысловая обстановка, особенно начиная с конца марта, была менее результативна, чем у о-ва Мордвинова (Таблица 19). Основу вылова составлял крупный криль средней длины 50,8 мм. В начале мая уловы криля у острова Ливингстон существенно уменьшились, составив в среднем с 1 по 5 мая 11 т/час траления и 131,4 т за судо-сутки лова.

Таблица 19

Данные работы РКТС на участках промысла в подрайоне 48.1 в марте–мае 2006 г.

Периоды работы	Подрайон	Улов за час траления, т	Вылов за с/с, т
14–28 марта	остров Мордвинова	21,2	243,0
22 марта–05 мая	остров Ливингстон	14,8	175,1
06–26 мая	пролив Брансфилд	22,9	244,0

6 мая в проливе Брансфилд промысел был продолжен на участке между 62°46'–63°07' ю.ш., 057°29'–059°59' з.д. До середины мая лов криля велся на участке в 15 милях от северного побережья Антарктического полуострова, постепенно смещаясь в западном направлении к острову Ливингстон. Промысловая обстановка была необыкновенно продуктивна. Средние уловы за час траления и судо-сутки лова составили: с 6 по 10 мая — 20,5 и 228,9, во второй декаде мая — 26,3 и 260,7, в третьей декаде (21–26.05) — 19,5 т и 229,4 т.

Оправдываемость прогноза за 2006 г. Для подрайона 48.2 согласно прогнозу, разработанному в 2004 г., у Южных Оркнейских островов в 2005 и 2006 гг., ожидалось уменьшение величины промыслового запаса и уловов криля в сравнении с 2004 г. В марте 2006 г. среднемесячный улов за судо-сутки лова у РКТС прогнозировался в среднем 140 т. В 2005 г. эта цифра была скорректирована в сторону увеличения — до 170 т. Основанием послужили

данные о численности младших возрастных групп популяции криля в подрайоне 48.2 в 2005 г. Выяснилось, что в мае более 45 % облавливаемых скоплений составляли рачки двух поколений — 2002 и 2003 гг. рождения. Мы предположили, что криль этих поколений (с учетом годового прироста продукции) в 2006 г. будет составлять основу промыслового запаса, который обеспечит промобстановку на уровне, близком среднемноголетним. То, что биологические предпосылки прогноза оказались верными, подтвердили данные размерного состава криля у Ю. Оркнейских островов в феврале—марте 2006 г. Резкое снижение численности криля в 2006 г. явилось следствием его повышенной экспатриации из прибрежной зоны предположительно в ноябре—декабре 2005 г., из-за интенсификации южных переносов в атмосфере и гидросфере. Подобное развитие атмосферных процессов наблюдалось и в прошлые годы. К сожалению, такие ситуации в нашем случае непредсказуемы.

Следует отметить, что прогноз на 2005 и 2006 гг. с тенденцией снижения уловов в подрайоне 48.2 оправдался. При этом абсолютное значение этого уменьшения оказалось больше, чем ожидалось. Конкретно на март 2006 г. средний суточный улов, прогнозируемый, как указывалось выше, на уровне 170 т, фактически составил 136 т., отклонение минус 20 % от прогнозируемой величины.

Подрайон 48.3. У острова Южная Георгия на традиционных участках промысла, напротив, на 2006 г. прогнозировалось увеличение обилия криля и уловов — в июне—июле до 180–190 т за судо-сутки лова для судов РКТ-С. Промысел этим типом судна не проводился и оправдываемость прогноза не рассматривалась.

Для подрайона 48.1 прогноз не предоставлялся из-за отсутствия необходимых для его разработки данных. Однако, принятые решения о переходе РКТС из подрайона 48.2 в подрайон 48.1 стали возможными в следствие результатам наших исследований о противофазности межгодовой изменчивости обилия криля для указанных подрайонов.

Прогноз возможного улова на 2007–2008 гг.

В подрайоне 48.1, особенно в проливе Брансфилд, базируясь на научных наблюдениях 2006 г., предполагалось формирование наиболее благоприятных условий промысла. Это продиктовано биологическими предпосылками создания промыслового запаса криля в 2007 г. значительной долей криля группы пополнения (40 % по численности) в возрасте 1–2-х лет и, вероятно, в 2008 г. (Таблица 20). В 2007 г. этот криль (с учетом годового прироста) должен был составить основу промысловой биомассы скоплений и обеспечить высокие уловы в 2008 г. на уровне наиболее успешных промысловых лет.

В подрайоне 48.2 в 2007 г. существенного увеличения промзапаса, по сравнению с 2006 г., не ожидалось. В начале 2007 г., в случае пополнения крилем, существенного увеличения биомассы скоплений не произойдет, поскольку основу будут составлять мелкие особи группы пополнения. Промысловая обстановка прогнозировалась нестабильной, а уловы на уровне ниже среднеголетних — у РКТС в пределах 130–160 т за судо-сутки лова. В 2008 г. у Южных Оркнейских островов ожидалось улучшение промобстановки (Таблица 20).

Промысел и реализация прогноза за 2007 г. По данным, полученным от иностранных судов, мы констатировали, что промысловая обстановка в 2007 г. в подрайонах 48.1 и 48.3 оказалась хуже прогнозируемой, а в подрайоне 48.2 значительно лучше, чем в 2006 г. Это еще раз послужило доказательством существования противофазности в состоянии сырьевой базы криля между подрайонами 48.1 и 48.2.

Успешность промысла криля определялась не только состоянием промыслового ресурса, но и ледовыми условиями, особенно у Южных Оркнейских и Южных Шетландских островов. В середине мае 2007 г. траулер F/V «Дальмор-II» был вынужден покинуть подрайон 48.2 несмотря на благоприятную промысловую обстановку. Попытка продолжить лов криля в проливе Брансфилд (подрайоне 48.1) успеха не имела по той же причине. Вся акватория пролива оказалась забитой дрейфующими льдами большой сплоченности. В 2006 г. ледовая обстановка в этих подрайонах была исключительно благоприятна и не препятствовала выполнению промысловых работ.

Прогноз возможного улова криля на судо-сутки лова (т) на 2007–2008 гг.

Подрайон	Тип судна	Квартал		
		I	II	III
48.1	РКТС	180–200	200–220	160–180
		160–180 (март)	180–200	150–170 (июль)
	БМРТ	110–120	140–160	100–120
48.2	РКТС	130–150	140–160	
		150–170 (март)	160–180	
	БМРТ	80–100	90–110	
		100–120	110–130	
Примечание: в числителе значения уловов в 2007 г., в знаменателе — 2008 г.				

Прогноз возможного улова на 2008–2009 гг.

В подрайоне 48.1 в 2008 г. на основе биологических предпосылок 2006 г. прогнозировалось формирование промыслового запаса криля на высоком уровне, особенно в проливе Брансфилд с уловами в период с марта по июнь 11–13 т/час, за судо-сутки лова 160–190 т. В 2009 г. ожидалось снижение нагрузок до 10–11 т/час и 140–170 т с/с лова.

В подрайоне 48.2 в сезон 2007 г., по сравнению с 2006 г., произошло существенное пополнение промыслового запаса рекрутами урожая 2005–2006 гг. из высокоширотных районов АчА. Промысловая обстановка в сезон 2008 г. в сравнении с подрайоном 48.1 ожидалась благоприятной. Уловы с февраля по май 2008 г. предположительно составят 16–18 т/час и 190–210 т с/с лова со среднеразмерным крилем с модальным классом 41–43 мм. В 2009 г. ожидалось улучшение промобстановки за счет прироста массы рачков предыдущих поколений с доминированием особей модой 43–47 мм (Таблица 21).

В подрайоне 48.3 в 2008 г. прогнозировались уловы выше среднедолголетних значений со значениями 160–180 т на судо-сутки лова. Прогноз базировался на информации участников промысла в районе о. Южная Георгия об уловах судов и размерной структуре криля (мелкоразмерный криль). В 2009 г. прогнозировалось незначительное увеличение среднесуточных уловов криля до 170–190 т. за счет

годового прироста массы криля и в случае отсутствия его выноса за пределы приостровной зоны.

Таблица 21

Прогноз возможного улова криля на судо-сутки лова (т) на 2008–2009 гг.

Подрайон	Тип судна	Кварталы		
		I	II	III
48.1	РКТС		$\frac{160-190}{140-170}$ (март–июнь)	
48.2	РКТС		$\frac{190-210}{200-220}$ (март–май)	
48.3	РКТС	–	$\frac{160-180}{170-190}$ (май–июнь)	
Примечание: в числителе приводятся значения уловов в 2008 г., в знаменателе — 2009 г.				

В Районе 48 на промысле криля в 2008 г. предполагалось участие одного судна РКТС продолжительностью около 45 суток с общим выловом 8 тыс. т.

Промысел и реализация прогноза за 2008 год. Обзор хода промысла выполнен на основе работы РКТС «*Конструктор Кошкин*» в подрайоне 48.2 с 18 марта по 28 апреля. Более полная картина о состоянии промысловой обстановки, местоположении участков лова, уловах на усилие, длине облавливаемого криля (по трем размерным группам – крупный, средний, мелкий), ледовых условиях в подрайонах 48.1 и 48.3, а также в подрайоне 48.2 до прихода и после ухода РКТС, были любезно представлены капитанами иностранных траулеров.

В подрайоне 48.2 промысловая обстановка в сезон 2008 г. в сравнение с подрайоном 48.1 прогнозировалась, как благоприятна. Ведение промысла норвежским судном с момента открытия акватории ото льда со середины января и до прихода РКТС 18 марта было исключительно результативно. В дальнейшем, особенно в конце апреля и в мае, отмечались случаи ее кратковременного ухудшения. В целом промысловый сезон 2008 г. можно оценить успешным. С конца января до конца мая суда стабильно работали на традиционном участке ($60^{\circ}18'-60^{\circ}39'$ ю.ш., $046^{\circ}15'-047^{\circ}10'$ з.д.) в горизонте 15–150 м на плотных агрегациях среднеразмерного криля (мода 43–47 мм).

Величина промыслового запаса криля на участках лова в марте-апреле изменялась в пределах 200–300 тыс. т, что соответствует ее среднему значению за 1999–2005 гг.

Как и в предыдущие годы, четко прослеживалась связь между кратковременными (1–4 суток) изменениями промобстановки и неустойчивостью барической ситуации в синоптическом масштабе времени и ее внутрисезонным изменениями, связанными в основном с поступлением криля из сопредельных акваторий. Оценить влияние промыслового изъятия криля на величину его биомассы за 3 месяца (с января по апрель) не удалось. Вероятной причиной этого являлось то, что количество криля, поступившее за это время на промысловый участок, оказалось несоизмеримо выше вылова. Результаты промысла криля РКТ-С с 18 марта по 28 апреля приводятся в Таблице 22.

Таблица 22

Результаты промысла антарктического криля РКТ-С в подрайоне 48.2 в 2008 г.

Период работы	Вылов, т	Средний улов за 1 час траления, т	Средний вылов за судо-сутки, т	Прогноз на 2008 г.	
				т/час	т с/с лова
Март (18–31.03)	2798	18,4	199,8	16–18	190–210
Апрель (01–28.04)	5335	18,2	213,4		
Итого за рейс	8133	18,3	208,5	18,5	190–210

Плановое нахождение судна на промысле должно быть 55 суток, но из-за технической поломки продолжительность рейса сократилась на 13 суток. Средние уловы на усилие в марте составили 18,4 т/час и 200 т за судо-сутки, в апреле, соответственно — 18,2 и 213,4 т. с общим выловом 8133 т криля. Иностранные суда продолжали лов криля до начала июня и завершили его после резкого ухудшения ледовых условий, вызванных поступлением в приостровную зону дрейфующего льда из моря Уэдделла.

В подрайоне 48.3 промысел велся с июня по август на северо-западном участке приостровной зоны. Суточные уловы в июне, июле обеспечивали успешность работы судов. В конце июля и в августе наблюдалось обычное для

этого периода уменьшение уловов в темное время суток. Основу уловов составлял среднеразмерный и крупный криль, пригодный для всех видов переработки. Перечисленные выше факторы служат основой для оценки сырьевой базы криля у о. Южная Георгия в 2008 г., как успешной для ведения промысла.

Оправдываемость прогноза за 2008. Количественная оценка оправдываемости прогноза приведена лишь по подрайону 48.2. По другим подрайонам результаты промысла сопоставлялись с прогнозом промысловой обстановки на 2008 г., чтобы охарактеризовать его оправдываемость на другом качественном уровне.

Для подрайона 48.2 согласно прогнозу 2007 г. уловы РКТ-С у Южных Оркнейских о-в в феврале–мае 2008 г. ожидалось в пределах 190–210 т за судосутки лова и 18,5 т за час траления. Общий вылов криля должен был составить 8 тыс. т. Фактические цифры промысла свидетельствовали о том, что прогноз на 2008 г. полностью оправдался (Таблица 22). Оправдался прогноз и по размерному составу криля, который в марте составил при средней длине 43,2 мм, в апреле — 42,1 мм.

Подрайон 48.3. Промысловая обстановка у о. Южной Георгии прогнозировалась благоприятной, на уровне выше среднемноголетней. Результаты промысла иностранных судов в период с июля по август в целом соответствуют прогнозируемой тенденции состояния промысловых ресурсов криля в подрайоне. В части местоположения основного участка лова в июне–июле прогноз не оправдался. В 2008 г. скопления сформировались на северо-западном участке в результате поступления сюда среднеразмерного и крупного криля с водами АЦТ. В августе на северо-восточном участке было зафиксировано появление криля группы пополнения из моря Уэдделла.

Прогноз возможного улова на 2009–2010 гг. Прогноз перспектив промысла криля в АЧА на 2009–2010 гг. составлен по методике Бирик, Брянецев (2007), апробированной в 2007 г. Были использованы данные научного наблюдения в 2008 г. размерно-возрастной структуры криля, условий среды в подрайоне 48.2 и сведения о промысле в подрайонах 48.1 и 48.3 иностранных судов. Количество и качество информации по каждому подрайону разное. Наиболее обеспечен

данными для разработки прогноза — подрайон 48.2, наименее — 48.1, в котором биологические предпосылки прогноза отсутствуют за 2007 и 2008 гг. Это резко увеличивает фактор неопределенности и снижает оправдываемость прогноза.

Прогноз уловов криля на 2009 и 2010 гг. приведен в таблице 23.

В подрайоне 48.2. ожидалась наиболее благоприятная промобстановка в первом квартале. Средние уловы на усилие за февраль–май 2009 г. прогнозировались выше среднемноголетних (на 20–30 %). В уловах предполагалось доминирование криля модального класса 45–49 мм. В 2010 г. — в целом снижение уловов, начиная со второго квартала.

В подрайоне 48.3 промобстановка на 2009–2010 гг. представлялась в пределах средней многолетней.

В подрайоне 48.1 прогноз перспектив промысла криля в проливе Брансфилд из-за высокого фактора неопределенности был затруднителен. В 2009 г. промобстановка будет хуже среднемноголетнего значения; но с вероятной тенденцией улучшения в 2010 г. (Таблица 23).

Таблица 23

Прогноз возможного улова криля на судно-сутки лова (т) на 2009–2010 гг.

Подрайон	Тип судна	Кварталы		
		I	II	III
48.1	РКТС		<u>140–160</u> 160–180 (март–июнь)	
48.2	РКТС	<u>200–220</u> 150–170	140–160 (март–май)	
48.3	РКТС	–	<u>170–190</u> 180–200 (май–июнь)	
Примечание: в числителе приводятся значения уловов в 2009 г., в знаменателе — 2010 г.				

Суммарный вылов криля одним судном РКТС может быть в пределах 9–10 тыс. т за 50 судно-суток лова.

Целесообразно акцентировать внимание пользователей прогноза на причины, которые могли бы негативно повлиять на успешность крилевого промысла в 2009 и 2010 гг. Первая из них — отсутствие метода прогноза аномалии в атмосфере и гидросфере, вызывающее экспатриацию криля из прибрежной зоны и уменьшение

промысловой биомассы до значений, исключающих рентабельный лов. За предыдущие 12 лет наблюдений (1996–2008 гг.) в результате воздействия таких аномалий у Южных Оркнейских о-вов было отмечено отсутствие промысловых скоплений в 1997 и 2006 гг.

Вторая причина была связана с ожидаемым увеличением с 2009 г. количества добывающих судов. В период с 1993 по 2008 г. количество судов, участвующих в крилевых путинах, составляло 6–8 единиц, а суммарный вылов криля около 108 тыс. т в среднем за год. В 2009–2010 гг. планировалось увеличение судов, способных вылавливать свыше 200–300 т криля за сутки. Планируемое увеличение стран-участниц на ведение промысла криля и численность добывающего флота в зоне АНТКОМ по сравнению с 2008 г., может привести к повышенной концентрации судов в подрайоне 48.2 в летне-осенний сезон, а в подрайоне 48.3 — в зимний. По нашему мнению, достижение вылова криля в подрайоне 48.2 250 тыс. т негативно отразилось бы на объемах добычи судов, ориентированных на выпуск пищевой продукции. Эта проблема до настоящего времени остается актуальной и требует положительного решения для стран выпускающих пищевую белковую продукцию на благо человечества.

Промысел и реализация прогноза за 2009 г.

Судно типа РКТС «*Конструктор Кошкин*» на промысле криля не работало. Участие автора диссертации в качестве научного наблюдателя на борту польского рыболовного траулера «*Dalmor-II*» позволило выполнить обзор хода промысла антарктического криля в подрайонах 48.1, 48.2.

В подрайоне 48.1 согласно прогнозу, ожидалось уменьшение промыслового запаса криля, по сравнению с сезонами 2007–2008 г., и снижение уловов. Фактический улов польского судна типа БМРТ составил 63,3 т за сутки лова, что подтвердило данный прогноз.

В подрайоне 48.2 в 2009 г. прогнозировалось увеличение промыслового запаса и хорошую промысловую обстановку. Средние уловы для судов типа РКТС в мае–июне 2009 г. должны были составить 140–160 т за судно-сутки лова.

Руководствуясь фактическими уловами судна БМРТ за сутки (75 % от производительности РКТС), которые составили 92 т (или 122 т в пересчете на судно типа РКТС), можно говорить об оправдываемости прогноза.

Прогностическое обоснование модального класса криля в уловах (43–47 мм) было подтверждено выполненными биологическими анализами: средняя длина рачков из уловов равнялась 48 мм.

Промысловый сезон 2008/2009 гг. у Южных Шетландских и Южных Оркнейских островов продемонстрировал разнонаправленные тенденции межгодовой изменчивости промысловой обстановки в этих подрайонах и существование противофазности сырьевой базы криля (Бибик, 2006; Бибик и др., 2007). В отдельные годы различие состояния промыслового запаса криля в этих подрайонах было выражено слабо, в другие годы — находилось в противофазе. Причины этих региональных различий рассмотрены в работе В.А. Библика и В.А. Брянцева (Бибик, Брянцев, 2007).

Прогноз возможного улова на 2010 и 2011 гг.

В подрайонах 48.2, 48.1 в 2010 г. прогнозировалось снижение запаса криля в связи с невысоким его пополнения в 2008–2009 гг. Вследствие этого уловы в сезон 2010 г. прогнозировались ниже 2009 г. В случае отсутствия репатриации рачков в весенне-летний период из промысловых участков архипелага и за счет прироста их биомассы ожидалась величина уловов на уровне на среднемноголетнем уровне. В 2011 г. ожидалось дальнейшее уменьшение величины уловов криля в связи с низким пополнением молодь из других участков океана (Таблица 24).

Таблица 24

Прогноз уловов криля за судно-сутки лова (т) на 2010–2011 гг.

Подрайон	Тип судна	I квартал	II квартал
48.1	РКТС	<u>120–140 т/сутки лова*</u>	<u>120–140 т/сутки лова*</u>
		110–130 т/сутки лова**	100–120 т/сутки лова**
48.2	РКТС	<u>160–180 т/сутки лова*</u>	<u>140–160 т/сутки лова*</u>
		130–170 т/сутки лова**	120–150 т/сутки лова**
Примечание: * — значения уловов в 2010 г., ** — в 2011 г.			

Подрайон 48.2. В феврале в подрайоне работали 2 траулера (Норвегии и России). Промысловая обстановка в феврале была исключительно хорошей. Суточные уловы норвежского траулера по способу непрерывного лова составляли 500–600 т, а российского с обычным способом траления — 100–140 т. Криль облавливался в горизонте 7–160 м. Основу уловов составлял среднеразмерный криль с модальным классом 43–49 мм при средней длине 48,3 мм и массе 0,89 г.

В начале марта промысловая обстановка резко ухудшилась. Польское судно, прибыв в подрайон 48.2 в начале марта, на традиционном участке к северо-западу о. Коронейшен до середины марта имело суточный вылов до 58 т. В связи с ухудшением промысловой обстановкой у Южных Оркнейских островов, группой судов неоднократно предпринимались поисковые работы в приостровной зоне. Польское судно 16 марта передислоцировалось в подрайон 48.1. Норвежский и российский траулеры, несмотря на низкие уловы, продолжали промысел криля до 11 апреля, покинув подрайон 48.2 по причине появления обширных ледовых полей. Промысловый сезон этого года характеризовался ранним закрытием льдом (сезоны 2008, 2009 гг. были закрыты 6 июня и 16 июля, соответственно).

По прогнозу на 2010 г. ожидалось уменьшение промыслового запаса криля и средних размеров из-за малочисленности группы пополнения в 2009 г. и наличия незначительного по биомассе низкоурожайного поколения 2006 г. Средние уловы судов типа РКТС прогнозировались на уровне 160–180 т за сутки лова. Прогнозируемые величины суточных уловов полностью оправдались. Дополнительно в расчет оправдываемости прогноза были приняты уловы польского БМРТ (57,9 т за сутки лова) с введением коэффициента улов РКТС/улов БМРТ=3,1. Согласно подсчету ($57,9 \times 3,1$), улов РКТС мог бы составить 179,5 т за сутки, что полностью соответствует прогностическому показателю для судов этого типа. Размерный состав криля в уловах также соответствовал прогнозируемой величине.

Подрайон 48.1. Анализ промысла выполнен по данным работы польского судна, на котором автор диссертации осуществлял научное наблюдение по системе АНТКОМ. Лов криля реализовывался на различных мелкомасштабных

участков у о-ва Ливингстон, архипелага Пальмир, пролива Брансфилд в марте-июле. Скопления криля имели широкий диапазон плотности: от разреженного до настолько плотного, что промысел ограничивался только возможностями его переработки. Средний суточный вылов за указанный период равнялся 62 т, а на 1 час траления — 8,2 т, что полностью соответствовало прогнозируемой величине уловов (8–10 т/час).

В целом на всей акватории подрайона 48.1 облавливался среднеразмерный криль, средняя длина которого, в зависимости от участка и месяца лова, колебалась от 43,0 до 47,3 мм, что соответствовало прогнозируемой величине.

Таким образом, представленные прогнозы уловов с годовой и двух летней заблаговременностью на протяжении 9-летнего периода 2002–2010 гг., базирующийся на данных размерной структуры и учета доли рекрутов криля группы пополнения, в том числе, урожайных поколений и гелиофизическом факторе с предиктором индекса солнечной активности (W — числа Вольфа, δ — изменение скорости вращения Земли), показал их высокую оправдываемость. Многолетние колебания вылова криля в АЧА были вызваны изменениями структуры течений, интенсивностью топографических вихрей, способствующие дрейфу рачков в районах промысла и образования промысловых скоплений. Успех реализации прогноза уловов в трех подрайонах промысла в значительной мере предопределялся интенсивностью влияния атмосферной циркуляции на перенос криля водными массами из морей Уэдделла и Беллинсгаузена в местную систему течений, где велся промысел.

Для подрайона 48.1 успешность промысла определялась системой прямых связей солнечной активности ее аномалии и обратной связью аномалии с зональным переносом, что разрешает сделать логический вывод об обратной связи с показанным переносом и выловом. Существующая в Южном полушарии связь зонального переноса с востока на запад при обратной связи с последним — обуславливала положительное влияние западного переноса на успешность промысла криля в подрайоне Антарктического полуострова.

Для подрайона 48.2 зависимость успеха промысла состоит в обратной связи с меридиональным переносом (во второй половине года и в целом за год) с юга на север. Обратная зависимость этих уловов сопряжена с показателями изменения скорости вращения Земли и обратная показателю антициклоничности в границах подрайона при переносе с юга (Брянцев, 2013). В соответствии с природой перечисленных характеристик, они обуславливают колебания в условиях промысла с 6-ти (W) и 70-летней (δ) периодичностью (Брянцев, 2016).

Аналогичная система отношений и величины уловов в подрайоне 48.3, зависящая от скорости вращения Земли и антициклоничностью южного и восточного переноса.

Основой для внедрения методики многолетнего прогноза уловов криля в АЧА является возможность использования экстраполяции первичных данных (индексы солнечной активности, изменения скорости вращения земли, величины уловов, размерной структуры криля). Методика может быть реализована в случае выполнения крилевых государственных программ и значительного увеличения количества промыслов (Агеев, 2015; Агеев, 2016), которые могли бы обеспечить отечественную промышленность достаточным количеством сырья, необходимого для выпуска продукции — пищевой, кормовой, медицинской и др.

5.3 Рекомендации и перспективы ведения промысла антарктического криля в подрайонах 48.1, 48.2, 48.3 и за их пределами

Используя многолетний научно-промысловый опыт работы в Антарктике, мы с уверенностью можем говорить о стратегии промысла криля промысловыми судами в Районе 48 и, в частности, в трех его подрайонах. К лову криля необходимо приступать в подрайоне 48.2 в начале промыслового сезона (декабрь), руководствуясь прошлогодней тактикой промысла в подрайонах 48.1, 48.2 на основе результатов акустического и тралового поисков, анализа промысловых, биологических, метеорологических и ледовых характеристик. Успех и продолжительность промысла в подрайоне 48.2 будут зависеть от биомассы пополнения рачками предшествующего и текущего годов, условий их

скапливания, и продлятся до начала льдообразования в мае, за редким исключением до июля. В противном случае, промысел при наличии противофазного состояния запаса криля между подрайонами 48.2 и 48.1 с минимальным его значением для подрайона 48.2, начиная с конца февраля или в начале марта, необходимо передислоцировать в подрайон 48.1 на его восточные границы, включая северный шельф острова Мордвинова, и затем смещаясь на запад. Продолжительность лова криля будет регламентирована сроками достижения порогового вылова и продлится до мая–июля текущего сезона.

Результаты количественного учета биомассы криля в подрайоне 48.1, его дрейф через участки промысла при зональном типе атмосферной циркуляции в сочетании с динамикой размерного состава позволят избежать существующего в настоящее время спекулятивного подхода о возможной конкуренции промысла криля со стоящими выше в пищевой цепи животными. Учитывая, что сезонная динамика размерного состава в скоплениях криля и его уловы связаны с направлением ветров, оперативный поиск концентраций крупного криля, пригодного для выпуска пищевой продукции, рекомендуется вести на основании учета направлений ветров.

По мере завершения промысловых работ в подрайонах 48.1 и 48.2 в связи с выбором установленной пороговой величины улова криля или по навигационным условиям – безопасность плавания во льдах, промысловые суда необходимо передислоцировать в подрайон острова Южная Георгия. Однако продление промысла в этом подрайоне сопряжено с работой судов в экономической зоне Великобритании. В этой связи существует процедура освидетельствования судов в соответствие с требованиями этого государства, и необходимостью сделать оплату за использование биоресурса криля.

Сроки проведения промысловых работ могут реализовываться в период с мая по октябрь текущего года. Лов криля, как показала практика, начинается на северо-восточном шельфе острова и постепенно смещается на северные участки, а в сентябре–октябре на северо-западный шельф. Особое внимание со стороны научных наблюдателей Великобритании уделяется наличию прилова морского южного котика и молоди щуковидной белокровки Гуннара, что может послужить основанием для смены промучастка по причине их попадания в трал. Следует

знать об особых случаях ведения промысла в приостровной экономзоне и наличии промыслового запаса криля, когда он в отдельные годы не велся из-за отсутствия скоплений, удовлетворяющим требованию рентабельной работе судов.

С целью оптимизации поиска потенциальных промучастков криля и обеспечения безопасности мореплавания в условиях приближающихся ледовых полей и прогнозирования в этой связи длительность промысла, необходимо использовать SST и ледовые карты отдела научно-промысловой разведки ФБГНУ АтлантНИРО.

В перспективе промыслу криля в АсА в качестве существующей угрозы выступает постепенный рост ТПО и температуры воздуха в районе Антарктического полуострова (Яловичева, 2018; Thomps, 2016; Sallée, 2018), которые могут повлиять на сокращение ареала криля в южном направлении и его сдвиг к материковой кромке льда (Siegert et al., 2019).

В ближайшее десятилетие немаловажное отрицательное влияние на условия промысла криля в АсА могут оказать создаваемые морские охраняемые районы (МОР) под управлением Антарктической Комиссии, в первую очередь в море Уэдделла (Negotiations ..., 2019). Таким образом, очевидно, что для обеспечения сырьевой базы развивающегося крилевого флота Норвегии, КНР и запланированных к постройке 5 криледобывающих судов России потребуется освоение других районов Южного океана.

В этой связи актуальным является диверсификация промысла криля, связанная с безальтернативным размещением судов в Индоокеанском секторе Антарктики (АЧИО), в котором выполнено 141 научно-исследовательских и поисковых экспедиций. Годовой вылов советского криледобывающего флота достигал 120–130 тыс. т. В настоящее время, учитывая все ограничения АНТКОМ по вылову криля, его уловы в АЧИО за сезон могут достигать 892 тыс. т.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты многолетней работы автора (2001–2017 гг.) позволили проанализировать распределение размерного состава антарктического криля в сезонном и межгодовом периодах в подрайонах 48.1, 48.2, 48.3, его зависимость от глубины лова и участков промысла в подрайоне Антарктического полуострова. Важным результатом исследований стал полученный расчет величины промысловой биомассы криля в проливе Брансфилд (подрайон 48.1), определение влияния факторов внешней среды на величину улова. Среди приоритетных направлений исследований — разработка и внедрение прогнозов вылова криля с годовой и двухлетней заблаговременностью в подрайонах промысла для рыбодобывающих организаций на протяжении 2002–2010 гг. с высокой степени оправдываемости.

В распределении размерных групп криля наблюдалась мозаичная картина, характерная для акваторий каждого подрайона. Внутрисезонные изменения размерного состава криля в уловах происходят в сторону его уменьшения по причине массового отмирания крупных рачков старших возрастных групп после нереста. На промысловых участках одновременно могут быть до пяти групп криля. Расхождения длины особей, пойманных в одни и те же месяцы (сезоны) различных лет, позволяют рассматривать межгодовые различия не столько в условиях роста рачков, а как многообразие возрастных групп динамики численности различных поколений. Межгодовые колебания значений модальных классов мономодальных кривых на примере подрайона 48.1 за период 1991 по 2017 г. указывают отсутствие явного тренда в сторону уменьшения. Изменения мод рядом с модальным классом 41–43 мм совпадали с ним и указывали на отсутствие отрицательного влияния промысла на криль.

На протяжении 17 лет исследований пелагической экосистемы подрайона Ю. Оркнейские острова были получены результаты, позволившие выявить три пика минимума и максимума значений длины тела криля от 31,3 до 50,4 мм. Такие естественные колебания мало- и высокочисленных поколений с периодом четыре-

пять лет, (но не изученных до конца), по-видимому, обусловлены существенной межгодовой динамикой пополнений, закономерности которых будут понятны в результате системного мониторинга.

В результате репродуктивного тайминга криля по продолжительности и срокам, числу генераций и скорости созревания, было обнаружено существование региональной и межгодовой изменчивости в зависимости от географического положения и условий местообитания. Если сравнивать аналогичные районы наблюдений, колебания сроков начала нереста составляют около 1,5–2 месяцев, а нерест, связанный с географией, смещается на все более поздний срок при продвижении с северной части ареала в южном направлении. Даже в одном и том же подрайоне 48.1 нерест криля для северо-восточной части подрайона начинается на месяц раньше, чем на юго-востоке. Эти задержки, вероятно, связаны с разностью теплосодержания вод, которые, на наш взгляд, требуют дальнейшей детализации в части расширения представлений о продолжительности периода размножения *E. superba*, масштабы которого уступают раннелетнему периоду, способному затягиваться до поздней осени. Наши результаты указывают на воспроизводство популяции в разных частях его ареала, возможность длительности нереста к марту-апрелю, что, в конечном счете, связано с проблемой промысла — его локализацией, объемом изъятия, пригодностью использования криля-сырца для изготовления различных видов продукции.

Понимание механизмов взаимосвязи гидрометеорологических факторов и промыслово-биологических показателей в условиях современного изменения климата, при аномальных и экстремальных условиях в атмосфере и в верхнем слое моря являлось важным этапом в изучении целостной картины: факторы обитания – криль. Анализ гидрометеорологических данных, величины уловов с использованием 1959 траловых станций, 282 биологических анализов на участках промысла в проливе Брансфилд в осенне-зимние периоды 2014–2017 гг. продемонстрировал межгодовую изменчивость факторов и их взаимосвязь с объектом промысла.

Многообразие групп криля, его размерный состав, эффективность промысла в проливе Брансфилд, во многом предопределялись факторами среды, среди которых доминировала атмосферная циркуляция с влияниями барических полей над морями Уэдделла и Беллинсгаузена.

В подрайоне Антарктического полуострова обособленно выделяются промысловые сезоны 2014, 2015, 2017 гг. (март–июнь) с зональным типом атмосферной циркуляции и преобладанием ветров западных румбов с трендом увеличения повторяемости восточных ветров. Такой характер ветрового режима и способствовал притоку молоди криля из моря Уэдделла на участки промысла пролива Брансфилд и на эффективность промысла — уловы на промысловое усилие (CPUE, т/час),

В сезон 2016 г. (март–май) здесь господствовал чисто зональный тип атмосферной циркуляции, при котором ветры западных румбов с высокой повторяемостью в марте–апреле составляли около 70 %, а в мае — 75 %. Данный фактор содействовал увеличению массового поступления крупноразмерных особей криля в пролив Брансфилд из моря Беллинсгаузена. При этом резко уменьшился приток молоди из моря Уэдделла. Уловы криля в мае 2016 г. превысили значения мая 2014, 2015, 2017 гг.

Схема течений данного региона подтвердила, что воды моря Уэдделла обильно выносили молодь криля в южную ветвь АЦТ в 2014, 2015, 2017 гг., затем — на восток в район Южных Оркнейских островов, вплоть до острова Южная Георгия. В 2016 г. устойчивые западные ветры усиливали влияние южной ветви АЦТ и влияние вод моря Беллинсгаузена, способствовавших выносу значительного количества крупного половозрелого криля в пролив Брансфилд. Анализ многолетних материалов межгодовой изменчивости размерного состава криля в контексте его приверженности к достаточно самостоятельным водам, а также факт, что в каждой из них обитают молодь и половозрелые особи, говорит о присутствии здесь отдельных субпопуляций.

Гидрометеорологические условия в значительной степени влияют на характер распределения размерной структуры криля и величину его уловов. Особенности

продуктивности вод хорошо иллюстрируют распределение групп криля в водах различного происхождения, влияющих не только на распределение криля, но и определяющих уровень развития первичной продукции, а также состояние кормовой базы.

Наличие внутрисезонных и межгодовых колебаний уловов на усиление обусловлено волнообразным поступлением в пролив Брансфилд молоди криля из моря Уэдделла и крупных половозрелых особей, мигрирующих к местам нереста из моря Беллинсгаузена и вступающих в нерестовый и промысловый запас. Подтверждением этого является значительное присутствие молоди в уловах на востоке пролива (61,8 %), а крупных рачков (74,1 %) — на западе.

Результаты исследования взаимосвязи механизмов гидрометеорологических факторов и промыслово-биологических показателей будут полезны для субъектов ведения промысла при наличии информации в плане понимания времени и места пополнения или выноса криля за пределы участков промысла при наличии информации о динамике характера синоптической ситуации в районах промысла, в том числе при подготовке и составлении прогнозов вылова.

Вертикальное распределение антарктического криля с позиции суточных миграций на протяжении месяца периода 2001–2017 гг. в подрайонах 48.1, 48.2, 48.3 показали их существенные колебания. Средняя глубина локализации менялась от лета к зиме, в результате чего средняя глубина траления меньше во время астрального лета, в начале осени (23–32 м), постепенно заглубляясь, достигает максимальной глубины зимой (102–263 м). Наряду с внутрисезонной изменчивостью вертикальной миграции наблюдается и межгодовая, просматривающаяся в одни и те же месяцы. Суточные, сезонные и межгодовые видоизменения диапазона миграции, плотность скоплений криля тесно связаны с его питанием и нерестом. В числе иных факторов — световые условия, их продолжительность, температурное влияние, образование квазистационарных зон с повышенной завихренностью вод под воздействием ветровой активности и, в меньшей степени, избеганием хищников. Скопления криля на промысловых участках постоянно подвергались трансформированию. В результате

наблюдаемый интенсивный распад в считанные часы независимо от времени суток из-за резких перестроек барического поля, смены направлений ветров, в том числе штормовых, вновь по истечении 2–3 суток приобретал промысловую плотность. Знания механизма суточных, сезонных ритмов вертикальных миграций криля позволяют рационально учитывать продолжительность тралений при формировании промысловых рейсов и минимизировать затраты на их проведение.

Расчет промысловой биомассы криля в проливе Брансфилд, её динамики методом прямого учёта по удельной плотности скоплений криля (г/м^3) на основе приложенного промыслового усилия и данных уловов 304 тралений на площади 2060 км^2 в мае 2006 г. составила $2,6\text{--}2,7 \pm 0,065$ млн т и 498 тралений на шести промысловых участках (4029 км^2) в период с 28 февраля по 20 июня 2017 г. показал существенное колебание плотности его биомассы от 1,4 до $102,0 \text{ г/м}^3$. Средневзвешенная плотность биомассы составила: на 1-ом участке $27,5 \pm 1,24 \text{ г/м}^3$, на 2-ом — $20,7 \pm 0,60$, на 3-ем — $15,5 \pm 0,39$, на 4-ом — $17,0 \pm 0,31$, на 5-ом — $26,5 \pm 0,81$, на 6-ом — $17,4 \pm 0,85 \text{ г/м}^3$ и на всей обследованной акватории пролива Брансфилд равнялась $18,4 \pm 0,34 \text{ г/м}^3$. Величина промысловой биомассы криля составила: на 1-ом участке $288,2 \pm 26,18$ тыс. т, на 2-ом — $511,0 \pm 29,89$, на 3-ем — $778,2 \pm 39,26$, на 4-ом — $211,2 \pm 7,12$, на 5-ом — $233,0 \pm 7,85$, на 6-ом — $945,0 \pm 31,85$ тыс. т. Суммарное значение биомассы на указанных участках колебалось от 2755,97 до 3177,12 тыс. т, в среднем — $2966,55 \pm 3$ %. Это значение, по нашему убеждению, занижено, поскольку высота скоплений в дневное время принята в расчетах равной 40 м. В ночных скоплениях криль рассеивался и распределялся в толще воды высотой до 100–120 м. Наряду с этим, расчет площади скоплений определялся исключительно по координатам работы нашего судна, но фактическая общая площадь скоплений, на которой работали остальные суда, была значительно больше. В представленных расчетах она не учитывалась, в т. ч. не учитывалась и площадь скоплений, покрытых льдом, где не могли работать суда по традиционной системе лова.

Современное ограничение на вылов антарктического криля в подрайоне

Антарктического полуострова, установленное в рамках предохранительного подхода к эксплуатируемому ресурсу (Hill et al., 2016), в соответствии с Мерой по сохранению 51-07 (2016), составляет 155 тыс. т, что равно 5 % от полученного нами значения промысловой биомассы лишь для промысловых участков пролива Брансфилд. Это свидетельствует о наличии значительного резерва для увеличения вылова криля в проливе Брансфилд, учитывая, что за последние пять сезонов (2013/2014–2017/2018 гг.) вылов криля велся преимущественно в проливе Брансфилд, чего не было в период между 1986 и 1992 гг. (Murphy et al., 1997).

Оценка промысловой биомассы и размерного состава криля на каждом из участков свидетельствовала о дискретном распределении плотности скоплений, разнокачественности состава рачков в пространстве и во времени из-за влияния водных масс различного происхождения в результате их горизонтальной циркуляции. Вследствие этого проявилась закономерность межгодовой изменчивости биомассы в подрайоне 48.1 с периодичностью 3–4 года, о чем свидетельствуют уловы на единицу промыслового усилия судна.

Полученные расчеты биомассы криля могут быть использованы в качестве обоснования для пересмотра существующего порогового уровня вылова антарктического криля для подрайона 48.1 в сторону увеличения или в целом его отмены (Временное..., 2016; On interim..., 2016). В подрайонах не зарегистрированы случаи отрицательного влияния промысла или негативных последствий для зависимых видов, в частности, личинок и молоди рыб (Жук, 2017) и на других потребителей, обитающих в проливе Брансфилд (Barbosa et al., 2018) и в сопредельных водах (морские млекопитающие, птицы, и др.) (Agnew, Phegan, 1995; Ichii et al., 1994; Mori, Butterworth, 2006; Lynch et al., 2009; Ichii et al., 2018; Staniland, Hill, 2018).

Представленный прогноз уловов с годичной и двухгодичной заблаговременностью за 9-летний период (2002–2010 гг.), базирующийся на данных размерной структуры и учета доли рекрутов криля группы пополнения, в том числе, урожайных поколений и гелиофизическом факторе с предиктором

индекса солнечной активности (W — числа Вольфа, δ — изменение скорости вращения Земли), показал его высокую оправдываемость.

Для подрайона Антарктического полуострова успешность промысла обусловлена системой прямых связей солнечной активности и ее аномалии и обратной связью аномалии с зональным переносом, что позволяет сделать логический вывод об обратной зависимости с существующим переносом и выловом.

Для подрайона Ю. Оркнейские острова схема успешности промысла состоит в обратной связи с меридиональным переносом (во второй половине года и в целом за год) с юга на север, которая обратная показателю антициклоничности в границах подрайона и с колебаниями в условиях промысла с 6-летней (W) периодичностью (Брянцев, 2016).

В подрайоне о. Южная Георгия система связей и величины уловов сопряжены с показателем скорости вращения Земли и антициклоничностью при наличии прямой связи с южным и восточным переносами, при которых антициклоническая форма атмосферных переносов в границах определенного поля создает систему циркуляции воды, усиливая скорость АЦТ, приводящую к образованию промскоплений криля, и тем самым создающую условия для эффективного промысла.

Многолетние колебания вылова криля в АчА были вызваны изменениями структуры течений, интенсивностью топографических вихрей, способствующих дрейфу рачков в районы промысла и образованию их промысловых скоплений под влиянием особенностей атмосферной циркуляции в результате глобальных климатических изменений. Успех реализации прогноза уловов в трех подрайонах промысла в значительной мере предопределялся интенсивностью влияния атмосферной циркуляции на перенос криля водными массами из морей Уэдделла и Беллинсгаузена в местную систему течений, где велся промысел.

Внедрение методики многолетних прогнозов уловов криля в АчА станет реальным в случае выполнения крилевых государственных программ, наличии первичных данных из районов промысла криля. Лишь при этих условиях

апробированная методика может быть реализована с использованием значительного производственного потенциала, который может быть эффективно задействован для отечественного промысла криля, изготовления большого ассортимента продукции.

Результаты многолетних разноплановых научных исследований, полученные и представленные в настоящей работе, можно рассматривать в качестве важнейших направлений и поставленных задач, решение которых предполагает: возобновление промысла криля Россией в водах АЧА, распространение его на Индоокеанский сектор Антарктики; изучение динамики запаса криля в пределах приостровных зон, в том числе вследствие обмена течениями между мелкомасштабными участками; выявление влияния последствий климатических изменений на компоненты антарктической экосистемы. Информация будет учитываться в разрабатываемой стратегии управления ресурсами региона.

По мнению ФАО, антарктический криль является крупнейшим резервом белка животного происхождения и призван сыграть заметную роль в обеспечении продовольственной безопасности планеты. Это во многом будет зависеть от того, насколько успешно станут реализовываться планы экосистемных исследований в западной части Атлантического сектора Антарктики, разработанные АНТКОМ при участии специалистов многих стран, с приоритетным участием Российской Федерации, ее научным и промысловым потенциалом.

ВЫВОДЫ

1. Сложная структура экосистемы Антарктики и ее биологическое разнообразие обусловлены сочетанием многочисленных взаимодействий биологических и физических факторов, которые продемонстрировали межгодовую изменчивость взаимосвязи факторы среды — криль и промыслово-биологические показатели вследствие влияния атмосферной циркуляции. Сезоны 2006, 2016 гг. характеризовались присутствием над акваторией Антарктического полуострова атмосферной циркуляции зонального типа и высокой повторяемостью ветров западных румбов в марте–апреле около 70 %, а в мае — 75 %. Промысловые сезоны 2014, 2015, 2017 гг. — с наличием зонального типа атмосферной циркуляции, но с увеличением повторяемости ветров восточных румбов, достигавшими до 75 % в июне 2017 г.

2. Внутрисезонная и межгодовая изменчивость размерного состава криля в подрайоне Антарктического полуострова предопределялась влиянием атмосферной циркуляции с высокой повторяемостью ветров западных румбов, которые вместе с водами моря Беллинсгаузена обеспечивали приток крупноразмерного криля (модальный класс 49,1–51,0 мм), минимизируя приток молоди из моря Уэдделла. Зональный тип атмосферной циркуляции с преобладанием ветров западных румбов, но с повышением повторяемости восточных ветров, вплоть до их господства, способствовал притоку молоди криля (модальный класс 35,1–39,0 мм) из моря Уэдделла.

3. Значительные колебания суточных, месячных и межгодовых вертикальных миграций криля в подрайоне Антарктического полуострова в период 2001–2017 гг. связаны с присутствием разнообразных водных масс под влиянием атмосферной циркуляции. Средняя глубина локализации криля менялась от лета к зиме: в начале осени на глубинах 23–32 м, зимой 102–263 м. Межгодовые изменения вертикальной миграции для одних и тех же месяцев были связаны, в том числе, с влиянием разницы значений ТПО. Амплитуда и глубина миграции криля возрастала при повышении значения температуры океана.

4. Промысловая биомасса антарктического криля лишь в проливе Брансфилд в 2006 и 2017 гг., рассчитанная методом изолиний по плотности скоплений криля (г/м^3) для каждого улова на площади 2060 и 4030 км^2 , составила $2,6\text{--}2,7\pm 0,065$ и $2,8\text{--}3,2\pm 0,106$ млн т соответственно. Это свидетельствует о значительном сырьевом потенциале криля в подрайоне Антарктического полуострова.

5. Уловы криля в годы с абсолютным доминированием ветров западных румбов выше (в среднем 22,9 т/час), чем в годы с ростом повторяемости восточных ветров (в среднем 7,0 т/час). Частая смена ветров на противоположные румбы отрицательна для процесса агрегированности криля.

6. Состояния противофазного промыслового запаса криля между подрайонами Антарктического полуострова и Ю. Оркнейскими островами обеспечивается механизмом пополнения дифференцированной биомассы криля высоко- и малочисленных поколений с учетом его размерной структуры и амплитуды 4–5 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абиотические факторы, определяющие современное состояние экосистем промысловых районов Антарктической части Антарктики (АЧА), 2000: отчет о НИР / Б.Г. Троценко. – Керчь: Изд-во ЮгНИРО, 2000. – 27 с.
2. Абрамов, Р.В. Статистика циклонов в антарктической части Атлантического океана / Р.В. Абрамов, Г.А. Чернега, В.Н. Яковлев // Метеорологические исследования в Антарктике. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – С. 151–156.
3. Агеев, А.В. Предпосылки отечественного промысла антарктического криля / А.В. Агеев // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 61–65.
4. Агеев, А.В. Предпосылки отечественного промысла антарктического криля / А.В. Агеев // Рыбное хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 51–53.
5. Акишин, В.В. Выживаемость криля, вышедшего из трала / В.В. Акишин // Пелагические экосистемы Южного океана: сб. науч. тр. ИОАН. – М., 1993. – С. 190–195.
6. Акишин, В.В. К вопросу о взаимодействии криля с орудиями лова / В.В. Акишин // Вопросы теории и практики промышленного рыболовства. Поведение гидробионтов в зоне действия орудий лова. – М.: Изд-во ВНИРО, 1998. – С. 11–41.
7. Аксютин, З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях / З.М. Аксютин. – М.: Пищевая промышленность, 1968. – 289 с.
8. Аксютин, З.М. Количественная оценка скоплений рыб методом изолиний / З.М. Аксютин // Труды ВНИРО. – 1970. – Т. 71(2) – С. 302–308.
9. Алексеев, Д.О. Пространственная биология командорского кальмара: дис. доктора биол. наук: 03.02.10 / Алексеев Дмитрий Олегович. – М.: Изд-во ВНИРО, 2020. – 391 с.
10. Андреев, М.П. Разработка технологического процесса получения сыромороженого фарша из криля: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.04 / Андреев Михаил Павлович. – М., 1982. – 228 с.

11. Андреев, М.П. К технологической характеристике антарктического криля / М.П. Андреев // Труды АтлантНИРО. – 1976. – Вып. 56. – С. 14–21.
12. Андреев, М.П. Антарктический криль — перспективное сырье для производства разнообразной пищевой продукции: обзор / М.П. Андреев // IV Всероссийская конференция по промысловым беспозвоночным: тезисы докладов. – М.: Изд-во ВНИРО, 2002. – С. 3.
13. Аннинский, Б.Е., Щепкина, А.М. Органический состав сальпы *Salpa Thompsoni Foxton* из района южной Атлантики. // Украинский антарктический журнал. – 2003. – №1. – С. 99–106.
14. Антарктический криль: справочник / ред. В.М. Быкова. – М.: Изд-во ВНИРО, 2001. – 207 с.
15. Артамонов, Ю.В. Исследование циркуляции вод Южной Атлантики по данным спутниковой альтиметрии / Ю.В. Артамонов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – С. 301–306.
16. Артамонов, Ю.В. Структура антарктического полярного и субантарктического фронтов западной части моря Скотия в апреле 1998 года / Ю.В. Артамонов, Н.П. Булгаков, В.А. Бибик и др. // Бюллетень Украинского Антарктического центра. – 2000. – Вып. 3. – С. 93–100.
17. Артамонов, Ю.В. Изменчивость ледовых и гидрологических условий в южной части моря Скотия осенью 1997–1998 гг. / Ю.В. Артамонов, О.А. Высотская, В.Ф. Грищенко, В.В. и др. // Бюллетень Украинского Антарктического Центра. – 2000. – № 3. – С. 150–156.
18. Артамонов, Ю.В. Результаты океанографических исследований в западной части пролива Брансфилд в марте 2002 года / Ю.В. Артамонов, А.С. Романов, Ю.Л. Внуков и др. // Украинский антарктический журнал. – 2003. – № 1. – С. 7–16.
19. Артамонов, Ю.В. Особенности гидрологической структуры Зоны слияния вод морей Уэдделла и Скотия летом южного полушария / Ю.В. Артамонов // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2002. – С. 371–380.

20. Артамонов, Ю.В. Великомасштабні геострофічні течії атлантичного сектору Антарктики та їх внутрішньорічна мінливість / Ю.В. Артамонов, П.Д. Ломакін // Бюллетень Українського Антарктичного центру. – 2002. – Вип. 4. – С. 32–39.
21. Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Ломакин П.Д., Скрипалева Е.А. Сезонная изменчивость термохалинных характеристик и объемно-статистических параметров водных масс в проливе Дрейка // Морской гидробиологический журнал. – 2004. – № 6. – С. 62–73.
22. Асеев, Ю.П. К изучению размерно-возрастной структуры и величины популяции антарктического криля (*E. superba* Dana) в индоокеанском секторе Антарктики: дис. ... канд. биол. наук / Ю.П. Асеев. – Керчь, 1978. – 109 с.
23. Асеев, Ю.П. К вопросу о популяционной структуре антарктического криля / Ю.П. Асеев // Биологические ресурсы больших глубин и пелагиали открытых районов Мирового океана: тезисы докладов научно-технической конференции (12–13 марта 1981 г.). – Мурманск, 1981. – С. 64–65.
24. Асеев, Ю.П. Размерная структура популяции и продолжительность его жизни в Индоокеанском секторе Антарктики / Ю.П. Асеев // Антарктический криль. Особенности распределения и среда. – М.: Изд-во ВНИРО, 1983. – С. 103–109.
25. Атлас Антарктики // Советская антарктическая экспедиция. – М.-Л.: Изд-во Главного управления геодезии и картографии МГ СССР, 1966. – 225 с.
26. Афанасьев, Б.В. Океанологические условия летом 1982 г. в южной части моря Скотия — в северной части моря Уэдделла: препринт / Б.В. Афанасьев, В.В. Масленников. – М.: Изд-во ВНИРО, 1983. – 38 с.
27. Батрак, К.В. Гидрохимические показатели структуры и биопродуктивности вод Антарктики: автореф. дис. канд. геогр. наук: 25.00.28 / Батрак Ксения Витальевна. – М., 2009. – 26 с.
28. Белкин, И.М. Фронтальная структура Южной Атлантики / И.М. Белкин // Пелагические Экосистемы Южного океана. – М.: Наука, 1993. – С. 40–53.

29. Бибик В.А., Масленников В.В., Пелевин А.С., Петрова Н.Г., Самышев Э.З., Солянкин Е.В., Шевцов В.В. 1988. Распределение *Euphausia superba* в связи с особенностями среды в морях Содружества и Космонавтов // Комплексные исследования экосистемы пелагиали в морях Содружества и Космонавтов. М.: Изд-во ВПИРО. – 1988. – С. 109-124.
30. Бибик, В.А. Сырьевая база криля в районах его промысла в антарктической части Атлантики в 1995 году и результаты промысловой деятельности украинских судов / В.А. Бибик // Труды ЮгНИРО. – 1996. – Т. 42. – С. 94–102.
31. Бибик, В.А. Состояние сырьевой базы криля (*Euphausia superba*) в промысловых районах в Атлантическом секторе Антарктики в 1999–2006 гг. / В.А. Бибик // Повышение эффективности использования водных биологических ресурсов: тезисы докладов Первой международной научно-практической конференции. – М., 2006. – С. 26–28.
32. Бибик, В.А. О возможных перемещениях криля (*Euphausia superba*) между мелкомасштабными участками (SSMUs) в статистическом подрайоне 48.2 / В.А. Бибик // Обсуждение неопределенности моделей промысла криля: тезисы доклада на Международную конференцию (Санта-Крус, США, 21–25 мая 2007 г.). – Санта-Крус, 2007. – С. 5–7.
33. Бибик, В.А. Роль динамики вод в образовании скоплений и перемещении антарктического криля / В.А. Бибик, В.А. Брянцев // Пелагические экосистемы Южного океана: сб. науч. тр. – М.: Наука, 1993. – С. 82–83.
34. Бибик, В.А. Прогноз успешности промысла антарктического криля, основанный на гео- и гелиофизических предпосылках / В.А. Бибик, В.А. Брянцев // Рыбное хозяйство Украины. – 2007. – № 3/4. – С. 10–13.
35. Бибик, В.А. Гидрометеорологические основы прогноза распределения и биомассы криля (*Euphausia superba* Dana) в море Содружества / В.А. Бибик, В.А. Брянцев, Л.А. Коваленко // WG-Krill 91/43: публикации Рабочей группы АНТКОМ. – Хобарт, 1991. – 6 с. (на англ. яз.).

36. Бибик, В.А. Прогноз уловов антарктического криля в море Содружества / В.А. Бибик, В.А. Брянцев, Л.А. Коваленко // Труды ЮгНИРО. – 1995. – Т. 41. – С. 103–104.
37. Бибик, В.А. Норвегия открывает новую страницу в истории промысла антарктического криля / В.А. Бибик, А.С. Виннов, Д. Склабоз // Рыбное хозяйство Украины. – 2007. – Вып. 1/2. – С. 11–14.
38. Бибик, В.А. Ограничительные меры АНТКОМ на промысел криля / В.А. Бибик, Е.П. Губанов // Рыбное хозяйство Украины. – 2001. – № 3–4. – С. 8–9.
39. Бибик, В.А. Промысел криля под угрозой введения жестких ограничений вылова / В.А. Бибик, Е.П. Губанов, Н.Н. Жук // Рыбное хозяйство Украины. – 2005. – № 1. – С. 20–22.
40. Бибик, В.А. Состояние биологических ресурсов антарктического криля у Южных Оркнейских и Южных Шетландских островов (антарктическая часть Атлантического океана) в 2006 г. / В.А. Бибик, В.И. Нигар, Н.Н. Жук // Рыбное хозяйство Украины. – 2007. – № 3/4 (50, 51). – С. 2–6.
41. Бибик, В.А. Состояние ресурсов антарктического криля в море Содружества в 1985–1990 гг. / В.А. Бибик, В.Н. Яковлев // Сырьевые ресурсы Южного океана и проблемы их рационального использования: материалы III Всесоюзного совещания. – М., 1990. – С. 21–22.
42. Богданов, М.А. Изменчивость океанологических условий и некоторые закономерности распределения криля в районе западного побережья Антарктического полуострова / М.А. Богданов, Е.В. Солянкин, В.В. Масленников и др. // Биологические ресурсы антарктического криля. – М.: Изд-во ВНИРО, 1980. – С. 55–72.
43. Брянцев, В.А. Ориентировочный прогноз успешности промысла криля в атлантической части Антарктики / В.А. Брянцев // Труды ЮгНИРО. – 1998. – Т. 44. – С. 210–215.
44. Брянцев, В.А. Методика прогноза многолетней перспективы промысла для ряда районов Южного полушария / В.А. Брянцев // Труды ЮгНИРО. – Керчь, 2013. – Т. 51. – С. 9–11.

45. Брянцев, В.О. Багаторічний промисловий прогноз на основі геофізичних та геліофізичних факторів / В.О. Брянцев. – К.: Інтерсервіс, 2016. – 78 с.
46. Брянцев, В.А. Перемещения скоплений антарктического криля (*E. superba* Dana) в море Содружества / В.А. Брянцев, В.А. Бирик // Океанология. – 1989. – Т. 29, вып. 5 – С. 832–835.
47. Брянцев, В.А. Образование скоплений антарктического криля при различных формах циркуляции вод / В.А. Брянцев, А.С. Пелевин, Н.П. Помазанова // Сырьевые ресурсы антарктической зоны океана и проблема их рационального использования: тезисы докладов Всесоюзной научной конференции. – Керчь, 1983. – С. 35–36.
48. Булгаков, М.П. Циркуляція вод в районі північно-західного шельфа Антарктичного півострова та її вплив на розповсюдження криля / М.П. Булгаков, Ю.В. Артамонов, П.Д. Ломакін // Доповіді НАН України. – 2001. – № 5. – С. 113–115.
49. Булгаков, Н.П. Циркуляция, температура, соленость, ледовые условия юго-западной части Атлантического океана и прилегающих акваторий Антарктики: атлас / Н.П. Булгаков, Ю.В. Артамонов, П.Д. Ломакин, В.Н. Белокопытов, Е.А. Скрипалева. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 91 с.
50. Булгаков, Н.П. Система крупномасштабных течений юго-западной части Атлантического океана и прилегающих акваторий Атлантического сектора Антарктики / Н.П. Булгаков, Ю.В. Артамонов, П.Д. Ломакин, Е.А. Скрипалева // Доповіді НАН України. – 2003. – № 10. – С. 127–130.
51. Булгаков, Н.П. Аномальные явления в южной Атлантике в феврале–мае 1998 г. / Н.П. Булгаков, Ю.В. Артамонов, В.А. Бирик и др. // Океанология. – 2001. – Т. 41, № 2. – С. 201–206.
52. Булгаков, Н.П. Циркуляция вод в южной части моря Скотия в марте–апреле 1997 года / Н.П. Булгаков, В.А. Бирик, Г.Ф. Джиганшин // Бюллетень Украинского Антарктического Центра. – 1997. – № 1. – С. 103–109.
53. Булгаков, Н.П. Пространственная структура южной полярной фронтальной зоны Атлантики / Н.П. Булгаков, Л.А. Воскресенская,

- Е.А. Скрипалева, Р.А. Ярошеня // Морской гидрофизический журнал. – 1999. – № 1. – С. 58–70.
54. Буруковский, Р.Н. Изучение антарктического криля с целью организации его промысла / Р.Н. Буруковский, Б.А. Ярогов // Антарктический криль. Биология и промысел. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1965. – С. 5–18.
 55. Быков, В.П. Химический состав криля / В.П. Быков, А.Я. Сторожук, Т.Н. Разакова, Л.Ф. Соломатина, Е.М. Сидорова // Рыбное хозяйство. – 1978. – № 10. – С. 69–73.
 56. Воронина, Н.М. Сообщества умеренных и холодных вод Южного океана / Н.М. Воронина // Биологическая продуктивность океана: Биология океана. – М.: Наука, 1977. – Т. 2. – С. 68–91.
 57. Временное распределение порогового уровня при промысле *Euphausia superba* в статистических подрайонах 48.1, 48.2, 48.3 и 48.4: мера по сохранению 51-07 (2016). – АНТКОМ, 2018. – С. 238–239.
 58. Грищенко, В.Ф. Реакции компонентов гляциосферы на изменения климата в районе Антарктического полуострова / В.Ф. Грищенко, В.Е. Тимофеев, С.В. Клок // Украинский антарктический журнал. – 2005. – № 3. – С. 99–107.
 59. Губанов, Е.П. Перспективы освоения запасов антарктического криля *Euphausia superba* Dana и пути его рационального использования / Е.П. Губанов, Н.Н. Жук, Е.О. Битютская // Рыбное хозяйство Украины. – 2014. – № 1 (90). – С. 3–13.
 60. Гурецкий, В.В. Поверхностные термические фронты в атлантическом секторе Южного океана / В.В. Гурецкий // Метеорология и гидрология. – 1987. – № 8. – С. 81–89.
 61. Джиганшин, Г.Ф. Сезонные и межгодовые вариации границы дрейфующих льдов в Атлантическом секторе Атлантики и в проливе Дрейка / Г.Ф. Джиганшин // Морской гидрофизический журнал. – 2003. – № 3. – С. 68–80.
 62. Донченко, Д.А. Изучение влияния гидрометеорологических характеристик на распределение антарктического криля (*Euphausia superba* Dana) методами ГИС / Д.А. Донченко // Известия Самарского научного центра РАН. – 2008. – № 2. – С. 522–530.

63. Долженков, В.Н. Биологические особенности и распределение *Euphausia superba* в высокоширотной части ареала / В.Н. Долженков, Р.Р. Макаров, Е.В. Солянкин, В.В. Шевцов // Биологические ресурсы Арктики и Антарктики. – Москва: Наука, 1987. – С. 374–390.
64. Еремеев, В.Н. Пространственно-временная изменчивость распределения морского льда в Антарктике / В.Е. Еремеев, А.Е. Букатов, М.В. Бабий, А.А. Букатов // Геоинформатика. – 2013. – №1 (45). – С. 63–71.
65. Жук, Н.Н. Промысловые и биологические показатели антарктического криля (*Euphausia superba*) на участках его промысла у Южных Шетландских островов и в проливе Брансфилд в марте–мае 2006 г. / Н.Н. Жук // Украинский Антарктический журнал. – 2011–2012. – № 10–11. – С. 201–211.
66. Жук, Н.Н. Эксплуатация антарктического криля (*Euphausia superba*) на участках его промысла в водах Антарктики (Район 48) в осенне-зимний период 2004 г. / Н.Н. Жук // Украинский Антарктический журнал. – 2013. – № 12. – С. 238–257.
67. Жук, Н.Н. Прилов личинок и молоди рыб на промысле антарктического криля (*Euphausia superba*) в проливе Брансфилд (статистический подрайон ФАО 48.1) в марте–мае 2017 г. / Н.Н. Жук // Современные проблемы теоретической и практической ихтиологии: материалы X Международной ихтиологической научно-практической конференции (Киев, 19-21 сентября 2017 г.). – Киев, 2017. – С. 108–112.
68. Жук, Н.Н. Обзор промысла РКТ-С «Море Содружества», гидрометеорологические условия и биология антарктического криля (*Euphausia superba*) в атлантической части Антарктики в летне-зимний период 2015 г. / Н.Н. Жук, Ю.В. Корзун // Украинский Антарктический журнал. – 2016. – № 15. – С. 131–152.
69. Ильичев, Е.Ф. Химический состав криля и использование его на кормовые и пищевые цели / Е.Ф. Ильичев // Антарктический криль. – Калининград, 1965. – С. 54–59.
70. Касаткина, С.М. Гидроакустические исследования характеристик распределения криля (*Euphausia superba*) и совершенствования

- методов контроля за состоянием его ресурсов: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.17 / Касаткина Светлана Михайловна. – Калининград, 2004. – 197 с.
71. Касаткина, С.М. Характеристика современного промысла антарктического криля *Euphausia superba* (период с 2003 по 2013 г.) в Антарктической части Атлантики (АЧА) / С.М. Касаткина, А.Ф. Петров, К.В. Шуст, Е.Ф. Урюпова, А.М. Сытов // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 5. – С. 69–74.
 72. Корзун, Ю.В. Сравнительный анализ уловов криля из тралов различных модификаций / Ю.В. Корзун, Н.Н. Жук // Труды ЮгНИРО. – 2015. – Т. 53. – С. 105–130.
 73. Корзун, Ю.В. а) Биология антарктического криля *Euphausia superba* в районе Южных Шетландских островов в летне-осенний период 2015 г. / Ю.В. Корзун, Н.Н. Жук // Тезисы докладов VIII Всероссийской научной конференции по промысловым беспозвоночным (Калининград, 2–5 сентября 2015 г.). – Калининград, 2015. – С. 136–138.
 74. Корзун, Ю.В. Биология и промысел антарктического криля *Euphausia superba* в проливе Брансфилд в осенний период 2016 г. / Ю.В. Корзун, Н.Н. Жук // Морские технологии: проблемы и решения: сборник трудов по материалам научно-практических конференций преподавателей, аспирантов и сотрудников ФГБОУ ВО «КГМТУ» 2017 г. – Керчь: Изд-во КГМТУ, 2017. – С. 126–135.
 75. Кузьменко, Л.В. Фитопланктон западной части пролива Брансфилда / Л.В. Кузьменко // Украинский Антарктический журнал. – 2004. – № 2. – С. 125–137.
 76. Кухарев, Н.Н. Современный промысел антарктического криля / Н.Н. Кухарев, Ю.В. Корзун, С.Т. Ребик, Н.Н. Жук // Труды ЮгНИРО. – 2014 – Т. 52. – С. 105–130.
 77. Ланин, В.И. Промыслово-океанологические исследования в индийском секторе Южного океана // Труды ЮгНИРО. – 2017. – Т. 54. – С. 51–57.
 78. Латогурский, В.И. Выделение независимых популяций антарктического криля / В.И. Латогурский // Рыбное хозяйство. – 1979. – № 10. – С. 12–14.

79. Латогурский, В.И. Рост и созревание *Euphausia superba* Dana в районе Южных Оркнейских островов / В.И. Латогурский // Антарктический криль в экосистемах промысловых районов (биологические, технологические и экономические аспекты): сборник научных трудов. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1990. – С. 40–54.
80. Латогурский, В.И. Пространственно-временная изменчивость размеров *Euphausia superba* Dana в районе Антарктического полуострова в январе-апреле 1982 г. / В.И. Латогурский, Н.А. Голов // Комплексные исследования экосистемы пелагиали морей Содружества и Космонавтов: сб. науч. тр. ВНИРО. – М.: Изд-во ВНИРО, 1988. – С. 194–200.
81. Латогурский, В.И. Распределение и биология *Euphausia superba* в районе Антарктического полуострова и прилегающих вод / В.И. Латогурский, Р.Р. Макаров, В.А. Спиридонов, А.С. Федотов // Антарктический криль в экосистемах промысловых районов (биологические, технологические и экономические аспекты): сб. науч. тр. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1990. – С. 20–40.
82. Литвинов, Ф.Ф. Криль — продукт перспективный [Электронный ресурс] / Ф.Ф. Литвинов, А.З. Сундаков // «Морская индустрия». – 2003. – Режим доступа: <http://mi32.narod.ru/01-04/kril.html>.
83. Лифшиц, В.М. О границах Южного океана / В.М. Лифшиц, Л.С. Студенецкая // Сырьевые ресурсы Южного океана и перспективы их рационального использования: тезисы докладов II Всесоюзного совещания (Керчь, 22–24 сентября 1987 г.). – Керчь, 1987. – С. 21–22.
84. Ломакин, П.Д. Океанографические условия в районе Южных Шетландских и Южных Оркнейских островов в марте–апреле 1997, 1998 гг. и их влияние на распределение криля и сальп / П.Д. Ломакин, Э.З. Самышев // Океанология. – 2004. – Т. 44, № 6. – С. 882–891.
85. Ломакин, П.Д. Особенности структуры и динамики вод и их влияние на распределение криля и сальп в морях Уэдделла и Скотия в марте–апреле 1997, 1998 годов / П.Д. Ломакин // Морской гидрофизический журнал. – 2003. – Вып. 4. – С. 73–83.
86. Ломакин, П.Д. Циркуляция и структура вод юго-западной части Атлантического океана и прилегающих акваторий Антарктики / П.Д.

- Ломакин, Е.А. Скрипалева. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – 117 с.
87. Ломакина, Н.Б. Эвфаузииды Мирового океана (*Euphausiacea*) / Н.Б. Ломакина // Определители по фауне СССР. – Л.: Наука, 1978. – Вып. 2. – 222 с.
 88. Луценко, Э.И. О формировании климатических циклов в атмосфере Антарктики / Э.И. Луценко, М.К. Федосов // Информационный бюллетень САЭ. – № 114. – С. 9–13.
 89. Лушов, А.И. Энергетический обмен антарктического криля / А.И. Лушов, В.С. Ефимов // Биологические ресурсы больших глубин и пелагиали открытых районов Мирового океана: тезисы докладов научно-технической конференции (Мурманск, 12–13 марта 1981 г.). – Мурманск, 1981. – С. 70.
 90. Макаров, Р.Р. Некоторые особенности жизненных циклов эвфаузиид / Р.Р. Макаров // Зоологический журнал. – 1971. – Т. 50. – С. 193–198.
 91. Макаров, Р.Р. Жизненный цикл и особенности распределения *Euphausia superba* Dana / Р.Р. Макаров // Труды ВНИРО. – 1972. – Т. 77. – С. 85–92.
 92. Макаров, Р.Р. Личинки *Euphausia superba* Dana в планктоне моря Скотия / Р.Р. Макаров // Труды ВНИРО. – 1974. – Т. 99, вып. 5. – С. 84–102.
 93. Макаров, Р.Р. Изучение повторного созревания самок эвфаузиид / Р.Р. Макаров // Зоологический журнал. – 1975. – Т. 54, № 5. – С. 681–688.
 94. Макаров, Р.Р. Изучение состава популяций (*Euphausia superba* Dana) / Р.Р. Макаров // Биологические ресурсы антарктического криля. – М.: Изд-во ВНИРО, 1980. – С. 89–113.
 95. Макаров, Р.Р. К изучению биологии размножения эвфаузиид. Выделение сперматофоров у *Euphausia superba* (Crustacea, Eucarida) / Р.Р. Макаров // Зоологический журнал. – 1981. – Т. 60, вып. 5. – С. 685–694.
 96. Макаров Р.Р. Особенности количественного распределения и условия образования скоплений *Euphausia superba* Dana на примере некоторых районов Атлантического и Тихоокеанского секторов Антарктики / Р.Р.

- Макаров, В.В. Масленников, Е.В. Солянкин, В.В. Шевцов // Биологические ресурсы антарктического криля. – М.: Изд-во ВНИРО, 1980. – С. 114–145.
97. Макаров, Р.Р. Биология размножения *E. superba* в районе Антарктического полуострова / Р.Р. Макаров, В.А. Спиридонов // Сырьевые ресурсы и биологические основы рационального использования промысловых беспозвоночных: тезисы докладов Всесоюзного совещания (Владивосток, 22–24 ноября 1988 г.). – Владивосток, 1988. – С. 28–30.
98. Масленников В.В. О влиянии динамики вод на распределение *Euphausia superba* Dana в районе о-ва Южная Георгия // Труды ВНИРО. – 1972. – Т. LXXV. Вып. I. – С. 107–117.
99. Масленников, В.В. Современные представления о крупномасштабной циркуляции вод Антарктики и пути массового дрейфа криля / В.В. Масленников // Биологические ресурсы антарктического криля. – М.: Изд-во ВНИРО, 1980. – С. 8–27.
100. Масленников, В.В. Климатические колебания и морская экосистема Антарктики / В.В. Масленников. – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 295 с.
101. Масленников, В.В. Роль динамики вод в поддержании популяции *Euphausia superba* Dana моря Уэдделла / В.В. Масленников, Е.В. Солянкин // Океанология. – 1980. – Т. 20, вып. 2. – С. 295–299.
102. Методические рекомендации по ведению поиска и промысла антарктического криля / сост. Р.Р. Макаров, Е.В. Солянкин, В.В. Шевцов. – М.: Изд-во ВНИРО, 1986. – 68 с.
103. Методические указания по сбору и первичной обработке в полевых условиях по биологии и распределению криля. – М.: Изд-во ВНИРО, 1982. – 48 с.
104. Наумов, А.Г. Некоторые черты распределения и биологии *Euphausia superba* / А.Г. Наумов // Информационный бюллетень Советской Антарктической экспедиции. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 12–17.

105. Наумов, А.Г. Основные черты биологии и распределения антарктического криля / А.Г. Наумов // Рыбное хозяйство. – 1978. – № 10. – С. 9–12.
106. Наумов, А.Г. Системный анализ структуры сообществ антарктических вод / А.Г. Наумов // Биологические основы промыслового освоения открытых районов океана. – М.: Наука, 1985. – С. 57–80.
107. Норинов, Е.Г. Обеспечение рациональной эксплуатации биоресурсов путем совершенствования структуры сетных оболочек орудий рыболовства: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.17 / Норинов Евгений Геннадьевич. – М., 2016. – 240 с.
108. Океанографическая энциклопедия / ред. R.W. Fairbridge; пер. с англ. А.А. Аламова, Т.А. Алимовой, М.В. Данилевской и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 631 с.
109. Парфенович, С.С. Некоторые особенности пространственного размещения скоплений антарктического криля / С.С. Парфенович // Океанология. – 1982. – Т. 22, вып. 3. – С. 480–485.
110. Перцова, К.Н. Личинки эвфаузиид Антарктики / К.Н. Перцова // Труды ИО АН СССР. – 1976. – Т. 105. – С. 147–170.
111. Петров, А.Ф. Морские охраняемые районы (МОР) в Антарктике — инструмент геополитической борьбы за ресурсы / А.Ф. Петров, С.М. Касаткина // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 3. – С. 3–16.
112. Позднева, Е.А. Межгодовая изменчивость положений ледовой кромки в западной части Атлантического сектора Антарктики / Е.А. Позднева, П.П. Федулов, К.Е. Шульговский // Антарктический криль в экосистемах промысловых районов (биологические, технологические, и экономические аспекты): сб. науч. тр. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1990. – С. 80–94.
113. Полищук, И.А., Шнар, В.Н., Чернышков, П.П. Особенности пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических условий и их влияние на распределение криля в Атлантической части Антарктики / И.А. Полищук, В.Н. Шнар, П.П. Чернышков // Вопросы промысловой океанологии. М.: Изд-во ВНИРО, 2008. – Вып. 5, №2. – С. 159–172.

114. Помазов, А.А. Подводные исследования криля в южной части моря Скотия / А.А. Помазов // Бюллетень Украинского Антарктического центра. – 2002. – Вып. 4. – С. 125–129.
115. Правдин, И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / И.Ф. Правдин. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 267 с.
116. Промысловое описание подрайона Южно-Оркнейский (Атлантический сектор Антарктики). – М.: Изд-во Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны, 1986. – 107 с.
117. Рокитский, П.Ф. Биологическая статистика / П.Ф. Рокитский. – М.: Высшая школа, 1973. – 320 с.
118. Романова, А.А. Ледовые условия плавания в водах Антарктики / А.А. Романова // Труды ААНИИ. – 1976. – Т. 335. – 159 с.
119. Романов, А.А. Льды Южного океана и условия судоходства / А.А. Романов – Л.: Гидрометиздат, 1984. – 88 с.
120. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. – 2-ое изд. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 725 с.
121. Рябчикова, Н.А. Динамические предпосылки образования промысловых скоплений криля в Индоокеанском секторе Антарктики / Н.А. Рябчикова, В.А. Брянцев, А.Б. Мензин, Н.А. Сыроватко // Вопросы промысловой океанологии Мирового океана: тезисы докладов V Всесоюзной конференции (Калининград, 23–25 октября 1979 г.). – Калининград, 1979. – С. 182–183.
122. Савич, М.С. Биологическая характеристика криля в районах исследований 2-ой Украинской морской антарктической экспедиции в марте–апреле 1998 года / М.С. Савич // Бюллетень Украинского Антарктического центра. – 2000. – Вып. 3. – С. 217–225.
123. Савич, М.С. Биологическая структура популяции криля (*Euphausia superba* Dana, 1852) в водах острова Южная Георгия в июле–октябре 2001 г. / М.С. Савич, Н.Н. Жук // Український антарктичний журнал. – 2004. – № 2. – С. 138–144.

124. Самышев, Э.З. Распределение и продукция антарктического криля / Э.З. Самышев // Биологические предпосылки промыслового освоения открытых районов океана. – М.: Наука, 1985. – С. 40–49.
125. Самышев, Э.З. Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале / Э.З. Самышев. – М.: Наука, 1991. – 168 с.
126. Самышев, Э.З. Заключение о состоянии популяции криля и пелагической экосистемы в западном регионе Атлантической части Антарктики в предзимний период 1998 года / Э.З. Самышев // Бюллетень Украинского Антарктического центра. – 2000. – Вып. 3. – С. 231–236.
127. Самышев, Э.З. Особенности структуры и функционирования экосистемы в районе УАС «Академик Вернадский» / Э.З. Самышев // Украинский антарктический журнал. – 2009. – Вып. 8. – С. 237–266.
128. Самышев, Э.З. К вопросу о формах существования криля в индоокеанском секторе Антарктики / Э.З. Самышев, Ю.П. Асеев // Симпозиум по скомброидным рыбам: тезисы докладов III Всесоюзного совещания по изучению биологических ресурсов больших глубин и эпипелагиали открытого океана (Керчь, май, 1979 г.). – М., 1979. – С. 43–44.
129. Самышев, Э.З. К методике прогноза запасов антарктического криля / Э.З. Самышев, В.А. Брянцев, Н.Г. Петрова // Сырьевые ресурсы Южного океана и проблемы их рационального использования: тезисы докладов II Всесоюзного совещания. – Керчь, 1987. – С. 105–107.
130. Сологуб, Д.О. Распределение и возрастной состав личинок эвфаузиид (*Euphausiacea*) в районе Антарктического полуострова / Д.О. Сологуб // Труды ВНИРО. – 2015. – Т. 154. – С. 3–15.
131. Сологуб, Д.О. Современные особенности распределения, биологии и горизонтальных миграций антарктического криля (*Euphausia superba*) в атлантическом секторе Антарктики: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.10 / Сологуб Денис Олегович. – М.: Изд-во ВНИРО, 2016. – 237 с.
132. Сологуб, Д.О. Сезонная динамика распределения промысловых скоплений и уловов антарктического криля в Атлантическом секторе

- Антарктики /Д.О. Сологуб, В.А. Бизиков // Труды ВНИРО. – 2017. – Т. 166. – С. 3–21
133. Состояние запасов криля и условий его обитания в море Содружества и сопредельных с ним регионах: отчет о НИР / Э.З. Самышев. – Керчь: Изд-во ЮгНИРО, 1988. – С. 36–49.
 134. Спиридонов, В.А. Исследования возрастной структуры популяции *Euphausia superba* Dana на примере района Антарктического полуострова и сопредельных вод / В.А. Спиридонов // Биологические ресурсы Арктики и Антарктики. – М.: Наука, 1987. – С. 391–414.
 135. Спиридонов, В.А. Биология и распределение *E. superba* Dana в районе Антарктического полуострова и сопредельных вод: дис. ... канд. биол. наук. – М.: Изд-во ИО РАН, 1988. – 233 с.
 136. Спиридонов, В.А. Состав популяции и транспорт молоди антарктического криля в районе бассейна Пауэлла (северо-западная часть моря Уэдделла) в январе 2020 г. / В.А. Спиридонов, А.К. Залота, В.А. Яковенко, К.М. Горбатенко // Труды ВНИРО. – 2020. – Т. 181. – С. 33–47.
 137. Список действующих мер по сохранению сезон 2009/10 г. – Хобарт: Изд-во Комиссии по сохранению живых ресурсов Антарктики, 2009. – 288 с.
 138. Список действующих мер по сохранению сезон 2016/17 г. – Хобарт: Изд-во Комиссии по сохранению живых ресурсов Антарктики, 2017. – 374 с.
 139. Справочник научного наблюдателя. – Хобарт: Изд-во АНТКОМ, 1999. – Часть 3, раздел 4. – С. 144–149.
 140. Сушин, В.А. Основные результаты исследований антарктического криля в Атлантическом секторе Южного океана / В.А. Сушин, Л.Г. Маклыгин, С.М. Касаткина // Антарктический криль в экосистемах промысловых районов (биологические, технологические и экономические аспекты). – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1990. – С. 5–19.
 141. Сушин, В.А. История, состояние и перспективы промысла антарктического криля / В.А. Сушин, Ф.Ф. Литвинов // Тезисы

- докладов IV Всероссийской конференции по промысловым беспозвоночным. – М.: Изд-во ВНИРО, 2002. – С. 124–125.
142. Сысоев, А.А. Биохимические основы оценки стадии продукционно-деструкционной сукцессии микропланктона вод пролива Брансфилд (западная Антарктика) в ранне-осенний сезон 2002 г. / А.А. Сысоев, И.В. Сысоева // Украинский антарктический журнал. – 2005. – № 3. – С. 108–114.
 143. Токарев, Ю.Н. Метод биофизической экспресс-оценки пространственного распределения и биомассы антарктического криля / Ю.Н. Токарев, В.И. Василенко, Б.Г. Соколов, В.Ф. Жук, Д.Я. Слипецкий // Украинский Антарктический журнал. – 2004. – № 2. – С. 160–169.
 144. Украинский, В.В. Фронтальные зоны и водные массы на поверхности юго-западной Атлантики и прилегающего сектора Южного океана / В.В. Украинский, Ю.И. Попов, Ю.В. Артамонов, П.Д. Ломакин // Бюллетень Украинского Антарктического Центра. – 2000. – Вып 3. – С. 68–78.
 145. Федотов, А.С. Личинки эвфаузиид зимой в восточной части зоны слияния вод Антарктического циркумполярного течения и вод моря Уэдделла / А.С. Федотов // Океанология. – 1992. – Т. 32, вып. 2. – С. 285–292.
 146. Федотов, А.С. Экология личинок и локализация основных зон формирования численности антарктического криля (*Euphausia superba* Dana) в атлантической части Антарктики: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.18 / Федотов Аркадий Сергеевич. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 1993. – 252 с.
 147. Чепурина, М.А. Межгодовая и сезонная изменчивость положения кромки льда Южного океана и возможности ее прогнозирования: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.08 / Чепурина Маргарита Анатольевна. – СПб: Изд-во ААНИИ, 1995. – 24 с.
 148. Чернявский, Е.Б. Фронтальные и градиентные зоны Южного океана / Е.Б. Чернявский. – М.: Промысловая океанология, 1977. – Вып. 6. – 50 с.

149. Чурин, Д.А. Мезомасштабная динамика вод в море Скотия и ее влияние на распределение промысловых скоплений антарктического криля // Материалы XV Конференции по промысловой океанологии, посвященной 150-летию со дня рождения академика Н.М. Книповича. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2011. – С. 250-252.
150. Чурин, Д.А. Мезомасштабные вихри как фактор формирования промысловых скоплений антарктического криля (*Euphausia superba*) в Атлантической части Антарктики // Международная научно-практическая конференция «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоёмов». – Калининград: Изд-во КГТУ, 2013. – С. 135-138.
151. Шуваев, Ю.Д. Поведение эвфаузия суперба в потоке воды разной скорости / Ю.Д. Шуваев // Сырьевые ресурсы Южного океана и проблемы их рационального использования: тезисы докладов II Всесоюзного совещания (Керчь, 22–24 сентября 1987 г.). – Керчь, 1987. – С. 103.
152. Шуст, К.В. Рыбы и рыбные ресурсы Антарктики / К.В. Шуст. – М.: Изд-во ВНИРО, 1998. – 163 с.
153. Шуст, К.В. Изучение и промысловое освоение биологических ресурсов антарктических вод / К.В. Шуст, В.А. Бизиков // Вопросы рыболовства. – 2010. Т. 11, № 4 (44). – С. 765–779.
154. Abram, N.J. Evolution of the Southern Annular Mode during the past millennium / N.J. Abram, R. Mulvaney, F. Vimeux, *et al.* // Nature Climate Change. – 2014. – No. 4. – P. 564–569. – doi:10.1038/nclimate2235.
155. Ackley, S.F. A review of sea-ice weather relationships in the Southern Hemisphere / S.F. Ackley // Sea Level, Ice and Climatic Change. – 1981. – No. 131. – P. 127–159.
156. Agnew, D.J. A fine-scale model of the overlap between penguin foraging demands and the krill fishery in the South Shetland Islands and Antarctic Peninsula / D.J. Agnew, G. Phegan // CCAMLR Science. – 1995. – No. 2. – P. 99–110.
157. Atkinson, A. Krill (*Euphausia superba*) distribution contracts southward during rapid regional warming / A. Atkinson, S.L. Hill, E.A. Pakhomov, *et al.* // Nature Climate Change. – 2019. – No. 9 (2). – P. 142–147. – doi: 10.1038/s41558-018-0370-z.

158. Atkinson, A. The role of krill in Southern Ocean nutrient cycles: Fieldwork Report (Season 2010/2011) [Электронный ресурс] / A. Atkinson, S.F.H. Venables, P. Enderlein, C. Schlosser, M. Patey. – 2011. – Режим доступа: <http://www.antarctica.ac.uk>.
159. Atkinson, A. Fitting *Euphausia superba* into Southern Ocean food-web models: a review of data sources and their limitations / A. Atkinson, S. Nicol, S. Kawaguchi, *et al.* // CCAMLR Science. – 2012. – Vol. 19. P. 219–245.
160. Atkinson, A. Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean / A. Atkinson, V. Siegel, E. Pakhomov, P. Rothery // Nature. – 2004. – No. 432. – P. 100–103.
161. Atkinson, A. A re-appraisal of the total biomass and annual production of Antarctic krill / A. Atkinson, V. Siegel, E.A. Pakhomov, M.J. Jessopp, V. Loeb // Deep Sea Research. Part I. – 2009. – No. 56. – P. 727–740.
162. Barbosa, A. Preliminary data on the foraging habitat use by gentoo penguin in Byers Peninsula (Livingston Island) and chinstrap penguin in Deception Island, South Shetlands. WG-EMM-18/40 / A. Barbosa, J. Benzel, J. Belliure, J. Masello. – Cambridge: CCAMLR Publ., 2018. – 7 p.
163. Bargmann, H.E. The development and life-history of adolescent and adult krill, *Euphausia superba* / H.E. Bargmann // Discovery Reports. – 1945. – No. 23. – P. 103–176.
164. Bargmann, H.E. The reproductive system of *Euphausia superba* / H.E. Bargmann // Discovery Reports. – 1937. – No. 14. – P. 325–350.
165. Becker, R.A., Chambers, J.M., Wilks, A.R. / The New s Language: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics (Wadsworth & Brooks / Cole computer science series), 1988. – 702 p.
166. Bibik, V.A. Long-term forecast of the conditions of Krill (*Euphausia superba* Dana) fisheries in the Antarctic Part of the Atlantic ocean. WG-EMM-07/15 / V.A. Bibik, V.A. Bryantsev. – Christchurch: CCAMLR Publ., 2007. – P. 7.
167. Bibik, V.A. State of Antarctic krill (*Euphausia superba*) fisheries in Statistical Area 48 (Subareas 48.2, and 48.1) in 2006. WG-EMM-07/9 / V.A. Bibik. – Hobart: CCAMLR Publ., 2007. – P. 12.

168. Bibik, V.A. State of Antarctic krill (*Euphausia superba*) fisheries in statistical subarea 48.2 in 2008. WG-EMM-08/24 / V.A. Bibik, N.N. Zhuk. – St. Petersburg: CCAMLR Publ., 2008. – P. 12.
169. Bombosch, A. *Euphausia superba* or *Salpathompsoni* – Who is going to win? [Электронный ресурс] / A. Bombosch. – 2008. – Режим доступа: <http://www.anta.canterbury.ac.nz>.
170. Bottino, N.R. Lipid composition of two species of Antarctic krill, *Euphausia superba* and *E. crystallorophias* / N.R. Bottino // Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry. – 1975. – Vol. 50 (3). – P. 479–484.
171. Brierley, A.S. On the very high likelihood of bycatch of ice krill (*Euphausia crystallorophias*) in the present-day fishery for Antarctic krill (*E. superba*). WG-EMM-18/05 [Электронный ресурс] // A.S. Brierley, R. Proud. – Режим доступа: <https://www.ccamlr.org/en/wg-emm-18/05>.
172. Brierley, A.S. Acoustic estimates of krill density at South Georgia, 1981 to 1998 / A.S. Brierley, J.L. Watkins, C. Goss, *et al.* // CCAMLR Science. – 1999. – Vol. 6. – P. 47–57.
173. Brierley, A.S. Significant intra-annual variability in krill distribution and abundance at South Georgia revealed by multiple acoustic surveys during 2000/01 / A.S. Brierley, C. Goss, S.A. Grant, *et al.* // CCAMLR Science. – 2002. – Vol. 9. – P. 71–82.
174. Brierley, G. Landscape connectivity: The geographic basis of geomorphic applications / G. Brierley, K. Fryirs, V. Jain // Area. – 2006. – Vol. 38, issue 2. – P. 165–74. – doi: 10.1111/j.1475-4762.2006.00671.x.
175. Candy, S.G. Modelling growth of Antarctic krill: II. Novel approach to describing the growth trajectory / S.G. Candy, S. Kawaguchi // Marine Ecology Progress Series. – 2006. – Vol. 306. – P. 17–30.
176. CCAMLR Statistical Bulletin [Электронный ресурс]. – 2019. – Vol. 31. – Режим доступа: <https://www.ccamlr.org/en/document/data/ccamlr-statistical-bulletin-vol-31-data-files>.
177. Clarke, K.R. Changes in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. – 2nd Ed. / K.R. Clarke, R.M. Warwick. – Plymouth: Primer-E, 2001. – 176 p.

178. Constable, A.J. Southern Ocean productivity in relation to spatial and temporal variation in the physical environment / A.J. Constable, S. Nicol, P.G. Strutton // *Journal of Geophysical Research*. – 2003. – Vol. 108. – P. 6–21.
179. Cuzin-Roudy, J. Seasonal reproduction, multiple spawning and fecundity in northern krill, *Meganyctiphanes norvegica*, and Antarctic krill, *Euphausia superba* / J. Cuzin-Roudy // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 2000. – No. 57 (3). – P. 6–15.
180. Cuzin-Roudy, J. Ovarian development and sexual maturity staging in Antarctic Krill, *Euphausia superba* (Crustacea) / J. Cuzin-Roudy, M.O. Amsler // *Journal of Crustacean Biology*. – 1991. – Vol. 11, no. 2. – P. 236–249.
181. Cuzin-Roudy, J. Early summer distribution of Antarctic krill sexual development in the Scotia-Weddell region: A multivariate analysis / J. Cuzin-Roudy, J.P. Labat // *Polar Biology*. – 1992. – No. 12. – P. 65–74.
182. Hinke, J.T. Identifying risk: Concurrent overlap of the antarctic krill fishery with krill-dependent predators in the scotia sea / J.T. Hinke, A.M. Cossio, M.E. Goebel, *et al.* // *PLoS One*. – 2017. – No.12 (1). – P. 1–24.
183. Daly K.L. Overwintering growth and development of larvae *Euphausia superba*: an interannual comparison under varying environmental conditions west of the Antarctic Peninsula // *Deep-Sea Research II*. – 2004. – Vol. 51. – P. 2139–2168.
184. Dotto, T.S. Multidecadal freshening and lightening in the deep waters of the Bransfield Strait, Antarctica / T.S. Dotto, R. Kerr, M.M. Mata, C.A.E. Garcia // *Journal Geophysical Research*. – Oceans. – 2016. – Vol. 121, issue 6. – P. 3741–3756. – doi: 10.1002/2015JC011228.
185. Dotto, T. S., Mata, M. M., Kerr, R., Garcia C. A. E. A novel hydrographic gridded data set for the northern Antarctic Peninsula. // *Earth Syst. Sci. Data*. – 2021. – Vol. 13. – P. 671–69. <https://doi.org/10.5194/essd-13-671-2021>
186. Everson, I. Krill: Biology, ecology and fisheries / I. Everson // *Fish and Aquatic Resources*. – Oxford: Blackwell Science, 2000. – Series 6. – 372 p.

187. Everson, I. Krill fishing activity in the southwest Atlantic / I. Everson, C. Goss // *Antarctic Science*. – 1991. – No. 3. – P. 351–358.
188. Everson, I. Mesoscale variability in the distribution of krill *Euphausia superba* / I. Everson, E.J. Murphy // *Marine Ecology Progress Series*. – 1987. – Vol. 40, no. 1–2. – P. 53–60.
189. Fach, B.A. Transport of Antarctic krill (*Euphausia superba*) across the Scotia Sea. Part I: Circulation and particle tracking simulations / B.A. Fach, J.M. Klinck, E.E. Hofmann // *Deep Sea Research. Part I*. – 2006. – Vol. 53, issue 1. – P. 987–1020. – doi: 10.1016/j.dsr.2006.03.006.
190. Fedoulov P.P. E. Murphy, K.E. Shulgovsky. Environment-krill relations in the South Georgia marine ecosystem // *CCAMLR Science*. – 1996. – Vol. 3. P. 13–30.
191. FishStatJ — Software for Fishery and Aquaculture Statistical Time Series [Электронный ресурс] // FAO Fisheries and Aquaculture Department. – Rome: FAO Publ., 2016. – Режим доступа: <http://www.fao.org/fishery>.
192. Flores, H. The association of Antarctic krill *Euphausia superba* with the under-ice habitat / H. Flores, J.A. Franeker, V. Siegel, *et al.* // *PLoS One*. – 2012. – No. 7 (2). – e31775. – doi: 10.1371/journal.pone.0031775.
193. Gyldenfeldt, A.-B. Flow variability at the tip of the Antarctic Peninsula / A.-B. Gyldenfeldt, E. Fahrbach, M.A. Garcia, M. Schroder // *Deep Sea Research. Part II*. – 2002. – No. 49 (21). – P. 4743–4766. – doi: 10.1016/S0967-0645(02)00157-1.
194. Hansen, H.J. Schizopoda and Cumacea / H.J. Hansen // *Expédition antarctique belge. Résultats du voyage du S.Y. Belgica en 1897–1898–1899. – Rapports scientifiques publiés aux frais du ... Belgica*. – 1908. – Tome R22. – P. 1–20.
195. Heegard, P. Larval stages of Meganyctiphanes (Euphausiacea) and some phylogenetic remarks / P. Heegard // *Meddelelser Fra Kommissionen for Danmarks Fiskeri-Og Havundersøgelser*. – Serie: Plankton. – 1948. – Vol. 5, no. 1. – P. 1–27.
196. Hewitt, R.P. Acoustic estimates of krill biomass in the Elephant Island area: 1981–1993 / R.P. Hewitt, D.A. Demer // *CCAMLR Science*. – 1994. – Vol. 1. – P. 1–5.

197. Hill, S.L. Is current management of the Antarctic krill fishery in the Atlantic sector of the Southern Ocean precautionary? / S.L. Hill, A. Atkinson, C. Darby, *et al.* // CCAMLR Science. – 2016. – No. 23. – P. 31–51.
198. Hofmann, E.E. Hydrography and circulation of the Antarctic continental shelf: 150° E to the Greenwich meridian / E.E. Hofmann, J.M. Klinck // The Sea. – ed. A.R. Robinson, K.H. Brink. – 1998. – Vol. 11. – P. 997–1042.
199. Hofmann, E.E., Murphy E.J. Advection, krill and Antarctic marine ecosystems. // Antarctic Science. – 2004. – Vol. 16. – P. 487–499.
200. Hosie, G.W. Distribution, abundance and population structure of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) in the Prydz Bay region, Antarctica / G.W. Hosie, T. Ikeda, M. Stolp // Polar Biology. – 1988. – No. 8. – P. 213–224.
201. ICED. Integrating Climate and Ecosystem Dynamics. Krillbase [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.iced.ac.uk>.
202. Ichii, T. An assessment of the impact of krill fishery on penguins in the South Shetlands / T. Ichii, M. Naganobu, T. Ogishima // CCAMLR Science. – 1994. – Vol. 1. – P. 107–128.
203. Ichii, T. Surface water circulation in krill fishing areas near the South Shetland Islands / T. Ichii, M. Naganobu // CCAMLR Science. – 1996. – No. 3. – P. 125–136.
204. Ichii, T. Characteristics of interannual variation in aggregation and diurnal vertical migration of Antarctic krill at South Georgia during winter. WG-EMM-18/34 [Электронный ресурс] / T. Ichii, Y. Mori, P.N. Trathan, *et al.* – 2018. – Режим доступа: <https://www.ccamlr.org/en/wg-emm-18/34>.
205. Ichii, T. Surface water circulation in krill fishing areas near the South Shetland Islands / T. Ichii, M. Naganobu // CCAMLR Science. – 1996. – Vol. 3. – P. 125–136.

206. Ichii, T. Competition between the krill fishery and penguins in the South Shetland Islands / T. Ichii, M. Naganobu // *Polar Biology*. – 1996. – No. 16 (1). – P. 63–70.
207. Ichii, T. Occurrence of Antarctic krill (*Euphausia superba*) concentrations in the vicinity of the South Shetland Islands: Relationship to environmental parameters. / Ichii, T., Katayama K, Obitsu N, Ishii H, Naganobu M // *Deep-Sea Research I*. – 1998. – Vol. 45. –P. 1235–1262.
208. Ikeda, T. Development of the larvae of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) observed in the laboratory / T. Ikeda // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. – 1984. – Vol. 75, issue 2. – P. 107–117.
209. Ikeda, T. Life history of Antarctic krill *Euphausia superba*: A new look from an experimental approach / T. Ikeda // *Bulletin of Marine Science*. – 1985. – Vol. 37, no. 2. – P. 599–608.
210. Jackowski, E. Distribution and size of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) in Polish commercial catches taken in the Atlantic sector of the Southern Ocean from 1997 to 1999 / E. Jackowski // *CCAMLR Science*. – 2002. – Vol. 9. – P. 83–105.
211. Kawaguchi, S. Catch per unit effort and proportional recruitment indices from Japanese krill fishery data in Subarea 48.1 / S. Kawaguchi, T. Ichii, M. Naganobu // *CCAMLR Science*. – 1997. – Vol. 4. – P. 47–63.
212. Kasatkina, S.M. On possible influence of continuous krill fishing technology with the use of ‘air bubbling suspension system’ on ecosystem elements. WG-EMM-06/27 / S.M. Kasatkina, V.A. Sushin. – Hobart: CCAMLR Publ., 2006. – 20 p.
213. Kawaguchi, S. Revisiting krill ageing method using eyestalk cuticles. WG-EMM-2019/45 / S. Kawaguchi, T. Barnes, N. Waller N., *et al.* – Concarneau: CCAMLR Publ., 2019. – 6 p.
214. Kawaguchi, S. Analysis of trends in Japanese krill fishery CPUE data, and its possible use as a krill abundance index / S. Kawaguchi, S. Candy, S. Nicol, *et al.* // *CCAMLR Science*. – 2005. – Vol. 12. – P. 1–28.

215. Kawaguchi, S. Fishing ground selection in the Antarctic krill fishery: Trends in patterns across years, seasons and nations / S. Kawaguchi, S. Nicol // CCAMLR Science. – 2006. – Vol. 13. – P. 117–141.
216. Kawaguchi, S. Direct effects of climate change on the Antarctic krill fishery / S. Kawaguchi, S. Nicol, A.J. Press // Fisheries Management and Ecology. – 2009. – Vol. 16. – P. 424–427.
217. Kawaguchi, S. Quantifying movement behaviour of vessels in the antarctic krill fishery / S. Kawaguchi, S.G. Candy // CCAMLR Science. – 2009. – Vol. 16. – P. 131–148.
218. Kawaguchi, S. Analysis of krill trawling positions north of the South Shetland Islands (Antarctic Peninsula area), 1980/1981–1999/2000 / S. Kawaguchi, K. Segawa // CCAMLR Science. – 2001. – Vol. 8. – P. 25–36.
219. Kerr, R., Mata, M. M., Mendes, C. R. B., and Sechhi, E. R. Northern Antarctic Peninsula: a marine climate hotspot of rapid changes on ecosystems and ocean dynamics. // Deep Sea Res. – 2018. Pt. II. – Vol. 149. – P. 4–9. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2018.05.006>, 2018a.
220. Kilada, R. Validation of band counts in eyestalks for the determination of age of Antarctic krill, *Euphausia superba* / R. Kilada, C.R. Reiss, S. Kawaguchi // PLoS One. – 2017. – Vol. 12 (2). – e0171773. – doi: 10.1371/journal.pone.0171773.
221. Klevjer, T. Annual migrations of pelagic fish stocks into a krill hotspot. WG-EMM-2019/33 / T. Klevjer. – Concarneau: CCAMLR Publ., 2019. – 15 p.
222. Klevjer, T. Detection of predator dive patterns from stationary echosounder data. WG-EMM-2019/34 / T. Klevjer, G. Skaret. – Concarneau: CCAMLR Publ., 2019. – 14 p.
223. Klevjer, T. Using stationary acoustic platforms to assess precision and accuracy of acoustical krill surveys. WG-EMM-2019/32 / T. Klevjer, G. Skaret, B.A. Krafft. – Concarneau: CCAMLR Publ., 2019. – 16 p.
224. Krafft, B.A. Studies of Antarctic krill, krill predators and trawl gear at South Orkney Islands [Электронный ресурс] / B.A. Krafft, G. Skaret, L.A. Krag, P. Trathan, Y. Ying. – 2013. – Режим доступа: http://www.imr.no/filarkiv/2013/04/hi_imr-report_no_8-2013_antarctic_krill.pdf/nb-no.

225. Krafft, B.A. Detection of growth zones in the eyestalk of the Antarctic krill *Euphausia superba* (Dana, 1852) (Euphausiacea) / B.A. Krafft, M. Kvalsund, G. Søvik, E. Farestveit, A.L. Agnalt // Journal of Crustacean Biology. – 2016. – Vol. 36 (3). – P. 267–273.
226. Krafft, B.A. Summer distribution and demography of Antarctic krill *Euphausia superba* Dana, 1852 (Euphausiacea) at the South Orkney Islands, 2011–2015 / B.A. Krafft, L.A. Krag, K.G. Skaret // Journal of Crustacean Biology. – 2018. – P. 1–7. – doi: 10.1093/jcbiol/ruy061.
227. Lascara, C.M. Seasonal variability in the distribution of Antarctic krill, *Euphausia superba*, west of the Antarctic Peninsula. / C.M. Lascara, E.E. Hofmann, R.M. Ross, L.B. Quetin. Deep-Sea Research I. – 1999. – Vol. 46. – P. 951–984.
228. Latogursky, V.I. Peculiarities of *Euphausia superba* size composition in Statistical Subarea 48.2 (South Orkney Islands). WG-KRILL-91/11 [Электронный ресурс] / V.I. Latogursky, R.R. Makarov. – 1991. – Режим доступа: <http://www.ccamlr.org/en/wg-krill-91/11>.
229. Loeb, V. Effects of sea-ice extent and salp or krill dominance on the Antarctic food web / V. Loeb, O.R. Holm-Hansen, R. Hewitt, *et al.* // Nature. – 1997. – Vol. 387. – P. 897–900.
230. Lynch, H.J. Timing of clutch initiation in *Pygoscelis* penguins on the Antarctic Peninsula: towards an improved understanding of off-peak census correction factors / H.J. Lynch, W.F. Fagan, R. Naveen, S.G. Trivelpiece, W.Z. Trivelpiece // CCAMLR Science. – 2009. – Vol. 16. – P. 149–165.
231. Macauley, M.C. Acoustic characterization of swarm of Antarctic krill (*Euphausia superba*) from Elephant Island and Bransfield Strait / M.C. Macauley, T.S. English, O.A. Mathisen // Journal of Crustacean Biology. – 1984. – Vol. 4, no. 1 (spec.). – P. 16–44.
232. Mackintosh, N.A. Life cycle of Antarctic krill in relation to ice and water conditions / N.A. Mackintosh // Discovery Reports. – 1972. – Vol. 36. – P. 1–94.

233. Mangel, M. Spatial patterning in resource exploitation and conservation / M. Mangel // Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences. – 1994. – Vol. 343. – P. 93–98.
234. Marr, J.W.S. The natural history and geography of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) / J.W.S. Marr // Discovery Reports. – 1962. – Vol. 32. – P. 33–464.
235. Makarov, R.R. Stages of sexual maturity of *Euphausia superba* Dana / R.R. Makarov, C.J. Denys // BIOMASS Handbook. – 1980. – No. 11. – 11 p.
236. Mauchline, J. The biology of Euphausiids / J. Mauchline, L.R. Fisher // Advances in Marine Biology. – 1969. – Vol. 7. – P. 1–454.
237. Miller, D.G.M. Biology and ecology of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana): a review / D.G.M. Miller, I. Hampton // BIOMASS Scientific Series. – 1989. – Vol. 9. – P. 1–166.
238. Marriott, P.M. Age estimation and maturity of the ridge-scaled macrourid (*Macrourus whitsoni*) from the Ross Sea / P.M. Marriott, M.J. Manning, P.L. Horn // CCAMLR Science. – 2006. – Vol. 13. – P. 291–303.
239. Murphy, E. Southern Antarctic Circumpolar Current Front to the northeast of South Georgia: Horizontal advection of krill and its role in the ecosystem / E.J. Murphy, J.L. Watkins, M.P. Meredith, *et al.* / Journal of Geophysical Research. – 2004. – Vol. 109, issue C1. – C01029. – doi: 10.1029/2002JC001522.
240. Murphy, E.J. Temporal variation in Antarctic sea ice: Analysis of the long-term fast-ice record from the South Orkney Islands / E.J. Murphy, A. Clarke, C. Simon, J. Priddle // Deep Sea Research. Part I. – 1995. – Vol. 42. – P. 1045–1062.
241. Murphy, E.J. Restricted regions of enhanced growth of Antarctic krill in the circumpolar Southern Ocean / E.J. Murphy, S.E. Thorpe, G.A. Tarling, *et al.* // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7. – e6963. – doi: 10.1038/s41598-017-07205-9.
242. Murphy, E. Modeling the krill transport pathways in the Scotia Sea: Spatial and environmental connections generating the seasonal distribution of krill / E. Murphy, S. Thorpe, J. Watkins, R. Hewitt // Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography. – 2004. – Vol. 51. – P. 1435–1456.

243. Murphy, E.J. Krill fishing in the Scotia Sea in relation to bathymetry, including the detailed distribution around South Georgia / E.J. Murphy, P.N. Trathan, I. Everson, G. Parkes, F.H.J. Daunt // CCAMLR Science. – 1997. – Vol. 4. – P. 1–17.
244. Nicol, S. Krill fisheries: development, management and ecosystem implications / S. Nicol, Y. Endo // Aquatic Living Resources. – 1999. – Vol. 12, no. 2. – P. 105–120.
245. Nicol, S. Population structure and condition of Antarctic krill (*Euphausia superba*) off East Antarctica (80–150°E) during the Austral summer of 1995/1996. / S. Nicol, J. Kitchener, R. King, G.W. Hosie, W.K. de la Mare // DeepSea Research II. – 2000. – Vol. 47. – P. 2489–2517.
246. Nicol, S. Krill, Currents, and Sea Ice: *Euphausia superba* and Its Changing Environment. // BioScience. – 2006. – Vol. 56, Iss. 2. – P. 111–120.
[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)056\[0111:KCASIE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056[0111:KCASIE]2.0.CO;2)
247. Nicol, S. The fishery for Antarctic krill — recent developments / S. Nicol, J. Foster, S. Kawaguchi // Fish and Fisheries. – 2011. – Vol. 13. – P. 30–40. – doi: 10.1111/j.1467-2979.2011.00406.x.
248. Niklitschek, E.J., Skaret G. Distribution, density and relative abundance of Antarctic krill estimated by maximum likelihood geostatistics on acoustic data collected during commercial fishing operations / E.J. Niklitschek, G. Skaret // Fisheries Research. – 2016. – Vol. 178. – P. 114–121.
249. Okuda, T. Analysis of variability of krill size and fish by-catch in the Japanese krill fishery based on scientific observer data / T. Okuda, M. Kiyota // CCAMLR Science. – 2012. – Vol. 19. – P. 31–47.
250. Orsi, A.H. On the circulation and stratification of the Weddell Gyre / A.H. Orsi, W.D. Nowlin, T. Whitworth // Deep-Sea Research. – 1993. – Vol. 40, no. 1. – P. 169–203.
251. Payne, A. Analysis of krill catch data from continuous and conventional trawls by the Saga Sea and Atlantic Navigator [Электронный ресурс] / A. Payne, J. Roe, J. Hooper, D. Agnew. – 2006. – Режим доступа: <http://www.ccamlr.org/en/wg-fsa-06/57>.

252. Perry, F.A. Habitat partitioning in Antarctic krill: Spawning hotspots and nursery areas / F.A. Perry, A.A. Atkinson, S.F. Sailley, *et al.* // PLoS One. – 2019. – Vol. 14, no. 7. – P. 1–25.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219325>
253. Peterson, R.G. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean / R.G. Peterson, L. Stramma // Progress in Oceanography. – 1991. – Vol. 26, no. 1. – P. 1–73.
254. Quetin, L.B. Krill energetics: Seasonal and environmental aspects of the physiology of *Euphausia superba* / L.B. Quetin, R.M. Ross, A. Clarke // Southern Ocean Ecology: The BIOMASS Perspective. – Cambridge: Cambridge University Press, 1994. – P. 165–184.
255. Quetin, L.B. Episodic recruitment in Antarctic krill *Euphausia superba* in the Palmer LTER study region / L.B. Quetin, R.M. Ross // Marine Ecology Progress Series. – 2003. – Vol. 259. – P. 185–200.
256. Reiss, C.S., A. Cossio, J.A. Santora, K.S. Dietrich, A. Murray, B. G. Mitchell, J. Walsh, E.L. Weiss, C. Gimpel, C.D. Jones, G.M. Watters. Overwinter habitat selection by Antarctic krill under varying sea-ice conditions: implications for top predators and fishery management. // Marine Ecology Progress Series. – 2017. – Vol. 568. – P. 1–16.
<http://www.int-res.com/abstracts/meps/v568/p1-16/>
257. Ross, R.M. Reproduction in Euphausiacea / R.M. Ross, L.B. Quetin // Krill: biology, ecology and fisheries. – Cambridge: Blackwell Science, 2000. – P. 150–181.
258. Royston, P. An extension of Shapiro and Wilk's W test for normality to large samples / P. Royston // Applied Statistics. – 1982. – Vol. 31. – P. 115–124. – doi: 10.2307/2347973.
259. Ryabov, A. B., Tarling, G. A. Scaling of size, shape and surface roughness in Antarctic krill swarms. // ICES Journal of Marine Science. – 2019. – Vol. 76. P. 1177–1188.
260. Sangra, P. The Bransfield current system / P. Sangra, C. Gordo, M. Hernandez-Arencibia, *et al.* // Deep Sea Research. Part I. – 2011. – Vol. 58. – P. 390–402. – doi:10.1016/j.dsr.2011.01.011.
261. Mörs, T. First fossil frog from Antarctica: implications for Eocene high latitude climate conditions and Gondwanan cosmopolitanism of

- Australobatrachia / T. Mörs, M. Reguero, D. Vasilyan // Scientific Reports. – 2020. – No. 10. – e5051. – doi: 10.1038/s41598-020-61973-5.
262. SC-CAMLR-XIV/BG/29 [Электронный ресурс]. – 1995. – Режим доступа: <https://www.ccamlr.org/en/ccamlr-xiv>.
 263. SC-CAMLR-XXVI/3. Report of the Working Group on Ecosystem Monitoring and Management. – Christchurch: CCAMLR Publ., 2007. – P. 1–29.
 264. SC-CAMLR-XXXV/0.3. Report of the Working Group on Ecosystem Monitoring and Management. – Bellona: CCAMLR Publ., 2016. – 163 p.
 265. SC-CAMLR-XXXVII. Report of the thirty-seventh meeting of the Scientific Committee. – Hobart: CCAMLR Publ., 2018. – 182 p.
 266. SC-CAMLR-XXXVII/BG/01 Rev. 3. Catches of target species in the Convention Area. – Hobart: CCAMLR Publ., 2018. – 7 p.
 267. Schmidt, K., A. Atkinson, S. Steigenberger, S. Fielding, M.C.M. Lindsay, D.W. Pond, G.A. Tarling, T.A. Klevjer, C.S. Allen, S. Nicol and E.P. Achterberg. Seabed foraging by Antarctic krill: Implications for stock assessment, benthic-pelagic coupling, and the vertical transfer of iron. // Limnology and Oceanography. – 2011. – Vol. 56 (4). – P. 1411–1428.
 268. Scientific Observers Manual. Part III. Section 1-4, 11. – Hobart: CCAMLR Publ., 2000. – 128 p.
 269. Scientific Observers Manual. Part III. Section 1–5. – Hobart: CCAMLR Publ., 006. – 128 p.
 270. Scientific Observers Manual. Part II. Section 1–5. – Hobart: CCAMLR Publ., 2011. – P. 15–24.
 271. Siegel, V. Distribution and abundance of Antarctic krill (*Euphausia superba*) along the Antarctic Peninsula / V. Siegel, C. Reiss, K. Dietrich, M. Haraldsson, G. Rohardt // Deep Sea Research. Part I: Oceanographic Research Papers. – 2013. – Vol. 77. – P. 63–74.
 272. Siegel, V. Untersuchungen zur Biologie des antarktischen Krill *Euphausia superba*, im Bereich Bransfield Strasse und angrenzender Gebiete / V. Siegel // Mitt. Inst. Seefisch. – 1986. – Vol. 38. – P. 1–224.
 273. Siegel, V. Recruitment of Antarctic krill *Euphausia superba* and possible causes for its variability / V. Siegel // Marine Ecology Progress Series. – 1995. – Vol. 123. – P. 45–56.

274. Siegel, V. Biology and ecology of the Antarctic krill / V. Siegel // *Advances in Polar Ecology*. – New York: Springer International Publishing, 2016. – Vol. 1.
275. Siegel, V. Long-term monitoring of krill recruitment and abundance indices in the Elephant Island area (Antarctic Peninsula) / V. Siegel, W. de la Mare, V. Loeb // *CCAMLR Science*. – 1997. – Vol. 4. – P. 19–35.
276. Siegel, V. Krill (Euphausiacea) demography and variability in abundance and distribution / V. Siegel // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 2000. – Vol. 57, no. 3. – P. 151–167.
277. Siegel, V. Distribution and population dynamics of *Euphausia superba*: summary of recent findings / V. Siegel // *Polar Biology*. – 2005. – Vol. 29. – P. 1–22.
278. Siegel, V. Size selectivity of the RMT8 plankton net and a commercial trawl for Antarctic krill. WG-EMM-07/28 [Электронный ресурс] / V. Siegel. – 2007. – Режим доступа: <https://www.ccamlr.org/en/wg-emm-07/28>.
279. Siegel, V. Krill demography and small-scale processes: a review / V. Siegel, J. Kalinowski // *Southern Ocean Ecology: the BIOMASS Perspective*. – Cambridge: Cambridge University Press, 1994. – P. 145–163.
280. Siegel, V. Length and age at maturity of Antarctic krill / V. Siegel, V. Loeb // *Antarctic Science*. – 1994. – Vol. 6. – P. 479–482.
281. Siegel, V. Recruitment of Antarctic krill *Euphausia superba* and possible causes for its variability / V. Siegel, V. Loeb // *Marine Ecology Progress Series*. – 1995. – Vol. 123. – P. 45–56.
282. Smetacek, V. Are declining Antarctic krill stocks a result of Global Warming or of the decimation of the whales? / V. Smetacek // *Impacts of Global Warming on Polar Ecosystems*. – Madrid: Fundación BBVA, 2012. – 192 p.
283. Smith, K. Spatial patterns of recent Antarctic surface temperature trends and the importance of natural variability: Lessons from multiple reconstructions and the CMIP5 models / K. Smith, L. Polvani // *Climate Dynamics*. – 2017. – Vol. 48. – P. 2653–2670. – doi: 10.1007/s00382-016-3230-4.

284. Staniland, I. Consumption estimates for male Antarctic fur seals at the South Orkney Islands during the post mating migration. WG-EMM-18/10 [Электронный ресурс] / I. Staniland, S. Hill. – 2018. – Режим доступа: <https://www.ccamlr.org/en/wg-emm-18/10>.
285. Sushin, V.A. Krill distribution in the western Atlantic sector of the Southern Ocean during 1983/84, 1984/85 and 1987/88 based on the results of Soviet mesoscale surveys conducted using an Isaacs-Kidd midwater trawl / V.A. Sushin, K.E. Shulgovsky // CCAMLR Science. – 1999. – Vol. 6. – P. 59–70.
286. Taki, K. Characteristics of seasonal variation in diurnal vertical migration and aggregation of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in the Scotia Sea, using Japanese fishery data / K. Taki, T. Hayashi, M. Naganobu // CCAMLR Science. – 2005. – Vol. 12. – P. 163–172.
287. Tarling, G.A. Instantaneous movement of krill swarms in the Antarctic Circumpolar Current / G.A. Tarling, S.E. Thorpe // Limnology and Oceanography. – 2014. – Vol. 59, no. 3. – P. 872–886. doi: 10.4319/lo.2014.59.3.0872.
288. Tattersall, W.M. Crustacea. VIII. Schizopoda / W.M. Tattersall // National Antarctic Expedition, 1901–1904. – Natural History (Zoology). – 1908. – Vol. 4, no. 7. – P. 1–42.
289. Tattersall, W.M. Crustacea. VIII. Euphausiacea / W.M. Tattersall // British Antarctic “Terra Nova” Expedition, 1910. – Natural History (Zoology). – 1924. – Vol. 13, no. 1. – P. 1–36.
290. Thompson, A.F. Surface circulation at the tip of the Antarctic Peninsula from drifters / A.F. Thompson, K.J. Heywood, S.E. Thorpe, A.H.H. Renner, A. Trasvica // Journal of Physical Oceanography. – 2009. – Vol. 39. – P. 3–26.
291. Thorpe, S.E., E.J. Murphy, and J.L. Watkins. Circumpolar connections between Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) populations: Investigating the roles of ocean and sea ice transport. // Deep-Sea Research I. – 2007. – Vol. 54. – P. 792–810.
292. Tovar-Sanchez, A. Impact of submarine hydrothermal vents on the metal composition of krill and its excretion products / A. Tovar-Sanchez, C.

- Duarte, S. Hernández-León, S.A. Sañudo-Wilhelmy // Marine Chemistry. – 2009. – Vol. 113. – P. 129–136.
293. Trathan, P.N. Krill biomass in Area 48 and Area 58: Recalculations of FIBEX data / P.N. Trathan, D.J. Agnew, D.G.M. Miller, J.L. Watkins, I. Everson, M.R. Thorley, E. Murphy, A.W.A. Murray, C. Goss // CCAMLR Selected Scientific Papers 1992. CCAMLR, Hobart, Tasmania. – 1993. – P. 157–182.
 294. Trathan, P.N. Status of the Polish FIBEX acoustic data from the West Atlantic / P.N. Trathan, J. Kalinowski, I. Everson // CCAMLR Science. – 1999. – Vol. 6. – P. 125–132.
 295. Trathan, P.N. Considerations about managing the krill fishery at small spatial and temporal scales. WG-EMM-2019/22 / P.N. Trathan, V. Warwick-Evans, E. Young. – Concarneau: CCAMLR Publ., 2019. – 39 p.
 296. Turner J., Colwell S., Marshall G., Lachlan-Cope T., Carleton A., Jones P., Lagun V., Reid F., Iagovkina S. Antarctic climate during the last 50 years. // Int. J. Climatol. – 2005. – Vol. 25. – P. 279–294.
 297. Wang, X. Evaluation of some processing techniques applied to acoustic recordings from two krill fishing vessels. SG-ASAM-17/03 [Электронный ресурс] / X. Wang, G. Skaret, O.R. Godo. – Hobart: CCAMLR Publ., 2017. – Режим доступа: <https://www.ccamlr.org/en/system/files/e-sc-xxxvi-a04.pdf>.
 298. Wang, X. Dynamics of Antarctic krill in the Bransfield Strait during austral summer and autumn investigated using acoustic data from a fishing vessel. WG-EMM-17/40 [Электронный ресурс] / X. Wang, G. Skaret, O.R. Godo, X. Zhao. – 2017. – Режим доступа: https://www.ccamlr.org/en/system/files/e-sc-xxxvi_3.pdf.
 299. Warren, J. Abundance and distribution of Antarctic krill (*Euphausia superba*) nearshore of Cape Shirreff, Livingston Island, Antarctica, during six austral summers between 2000 and 2007 / J. Warren, D.A. Demer // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2010. – Vol. 67, issue 7. – P. 1159–1170. – doi: 10.1139/F10-042.

300. Watkins, J.L. The use of fishing vessels to provide acoustic data on the distribution and abundance of Antarctic krill and other pelagic species / J.L. Watkins, K. Reid, D. Ramm, et al. // Fisheries Research. – 2016. – Vol. 178. – P. 93–100.
301. WG-EMM. Report of the Working Group on Ecosystem Monitoring and Management. – Concarneau: CCAMLR Publ., 2019. – P. 25.
302. Using krill length data from fishery-dependent and fishery-independent data sources to measure changes in the Antarctic krill population structure in the Bransfield Strait. WG-EMM-2019/76. – Concarneau: CCAMLR Publ., 2019. – 9 p.
303. Van Caspel, M. R., Mata, M. M., and Hellmer, H. H.: On the ventilation of Bransfield Strait deep basins. // Deep Sea Res. – 2018. – Pt. II. Vol. 149 – P. 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.09.006>, 2018.
304. Van Lipzig N.P.M., King J.C., Lachlan-Cope T.A. Precipitation, sublimation, and snow drift in the Antarctic Peninsula region from a regional atmospheric model // J. of Geoph. Res. – 2004. – Vol. 109. – D 24106–D24112.
305. Whitworth, T. The net transport of the Antarctic Circumpolar Current through Drake Passage / T. Whitworth, W.D. Nowlin, S.J. Worley // Journal of Physical Oceanography. – 1982. – Vol. 12. – P. 960–971.
306. Wiedenmann, J. Connecting recruitment of Antarctic krill and sea ice / J. Wiedenmann, K.A. Cresswell, M. Mangel // Limnology and Oceanography. – 2009. – Vol. 4, issue 3. – P. 799–811.
307. Yoshida, T. Effect of temperature on embryo development time and hatching success of the Antarctic krill *Euphausia superba* Dana in the laboratory / T. Yoshida, T. Toda, Y. Hirano, T. Matsuda // Marine and Freshwater Behaviour and Physiology. – 2004. – Vol. 37, no. 2. – P. 137–145.
308. Yuan, Y., Xiaofang, L., Junkui, M. et al. Preparation and Quality Identification of Chitosan and Chitooligosaccharide from Antarctic Krill / Science and Technology of Food Industry. – 2021. – Vol. 42(15): – P. 1–8. (in Chinese with English abstract). doi: [10.13386/j.issn1002-0306.2020100096](https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020100096)
309. Zhu, G. Precision of growth band determination from eye-stalk sections of Antarctic krill (*Euphausia superba*) preserved in formalin / G. Zhu, Y. Yang, Q. Song, H. Zhang // Fisheries Research. – 2018. – Vol. 197. – P.1–6

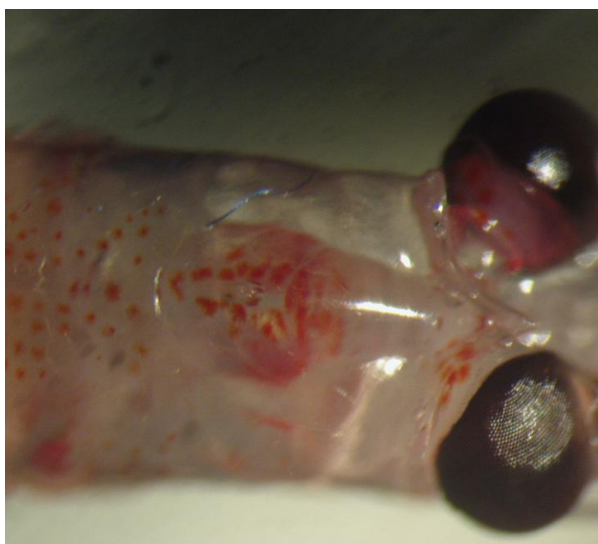
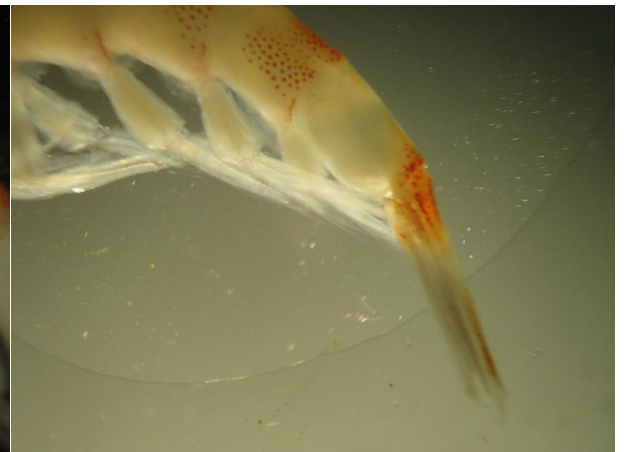
ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Патент Жука Н.Н. «Раствор и способ консервации проб зоопланктона»



Внешний вид *E. superba* после длительного хранения в патентном растворе



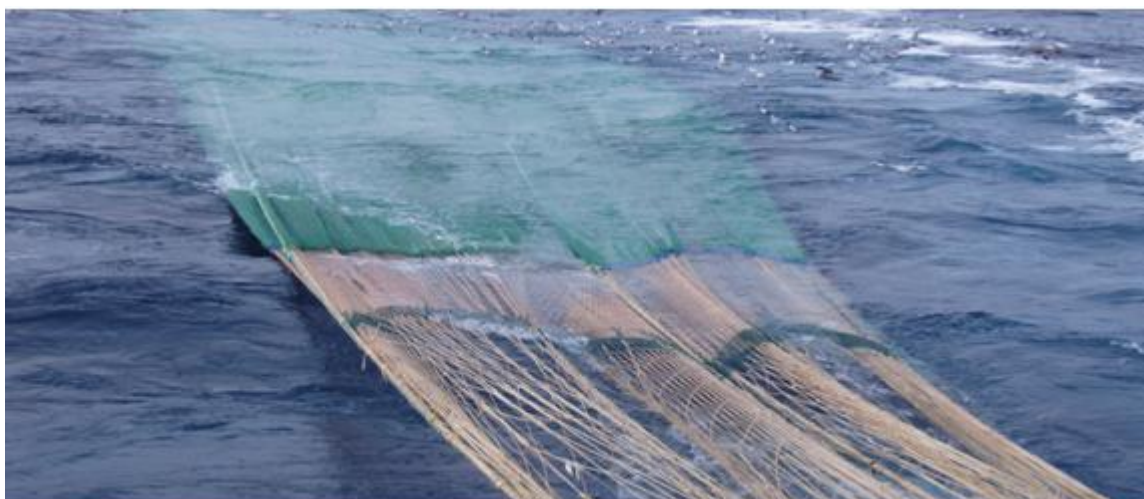
Приложение 2

Внешний вид конвенционных тралов, используемых на промысле *E. superba*

Канатный трал



Сетной трал



Бим трал



Приложение 3

Вид селективного устройства (A sea lion excluder device – SLED)
на сетном трале БМРТ «*Foros II*»



Вид селективного устройства SLED на канатном трале
РКТ-С «*Море Содружества*»

