

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЦИРКУЛЯЦИИ
ВОД И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ
EUPHAUSIA SUPERBA В МОРЕ СКОТИЯ**

В. Н. Шнар, С. М. Касаткина

*ФГБНУ «АтлантНИРО», Калининград
vshnar@atlantniro.ru, ks@atlantniro.ru*

Шнар В. Н., Касаткина С. М. Пространственно-временная изменчивость циркуляции вод и распределения антарктического криля *Euphausia Superba* в море Скотия // Труды АтлантНИРО. 2017. Новая серия. Т. 1, № 1. Калининград : АтлантНИРО. С. 65–75

Проанализирована межгодовая и пространственная изменчивость переноса криля в море Скотия, рассчитанная с применением геострофического метода. Для этого были использованы материалы советских комплексных учетных съемок криля, выполненных здесь в 1980-х годах, и данные международной съемки CCAMLR 2000. Предметом анализа являлись динамика циркуляции водных масс, оценки расходов воды ($\text{м}^3/\text{с}$) и биомассы криля ($\text{г}/\text{м}^3$), переносимой водным потоком в море Скотия. Показано, что наличие или отсутствие криля в том или ином подрайоне моря Скотия в большей степени является отражением динамики его дрейфа, а не определяется состоянием запаса и тем более влиянием промысла на промысловых участках. Представлены оценки биомассы криля, вносимой в море Скотия из тихоокеанского сектора Антарктики. Показано, что за промысловый сезон (5 месяцев) пополнение биомассы криля в море Скотия за счет геострофического дрейфа может превышать 10,61 млн т, что несопоставимо ни с ежегодным выловом криля, достигнутым здесь на современном промысле и не превышающим 300 тыс. т, ни с величиной допустимого вылова криля в 5,61 млн т и величиной временно установленного порогового вылова (620 тыс. т).

Ключевые слова: море Скотия, геострофическая циркуляция водных масс, антарктический криль, перенос криля, биомасса

Shnar V. N., Kasatkina S. M. Spatial-temporal variability of water circulation and distribution of antarctic krill *Euphausia Superba* in the Scotia sea // Trudy AtlantNIRO. 2017. New series. Vol. 1, № 1. Kaliningrad : AtlantNIRO. P. 65–75.

The inter-annual and spatial variability of krill transport into the Scotia Sea calculated using the geostrophic method is analyzed. For this purpose, the materials of the Soviet complex krill accounting surveys carried out there in the 1980s and the data obtained in course of the international CCAMLR 2000 survey were used. Dynamics of water mass circulation, estimates of water mass transport (m^3/s) and krill biomass (g/m^3) transported by the water flow into the Scotia Sea were the subject of the analysis. It is shown that presence or absence of krill in this or that subarea of the Scotia Sea is largely a reflection of its drift dynamics, and is not determined by the stock state and, the more so, the effect of fishery in the fishing grounds. Estimates of the krill biomass transported into the Scotia Sea from the Pacific sector of the Antarctic are presented. It is shown that for the fishing season (5 months) the krill biomass recruitment in the Scotia Sea may exceed 10.61 mln. t due to geostrophic drift, which is comparable neither with the annual krill catch obtained here in the present-day fishery and not exceeding 300 thous. t, nor with the amount of allowable krill catch of 5.61 mln. t and the value of the temporarily established trigger catch level (620 thous. t).

Key words: Scotia Sea, geostrophic water mass circulation, Antarctic krill, krill transport, biomass

Введение

Распределение антарктического криля *Euphausia superba* как планктонного объекта тесно связано с океанографической структурой водных масс и ее изменчивостью. Именно структура и динамика водных масс определяют основные закономерности пространственного распределения криля [Масленников, 2003]. Геострофический перенос вдоль дуги Скотия является неотъемлемой частью формирования распределения криля в море Скотия, где традиционно ведется его промысел [Сушин и др., 1990; Sushin, Shulgovsky, 1998; Murphy et al., 2004].

Вопросам изменчивости структуры и циркуляции водных масс посвящено большое количество публикаций, что позволило выявить основные закономерности пространственного распределения криля и прежде всего пути переноса криля и районы формирования его повышенных концентраций, скорости транспортировки криля водным потоком [Масленников, 2003; Шульговский, 2005; Hofman et al, 1998; Fach et al, 2002]. Однако количественные оценки переноса криля и влияние этого переноса на пространственно-временную динамику биомассы криля в море Скотия остаются малоизученными и являются наиболее дискуссионными при разработке схемы управления промыслом криля. Особую значимость перенос криля имеет для исследований рисков воздействия разрабатываемых схем пространственного распределения вылова на ресурсы криля и показатели работы флота.

В качестве показателя воздействия промысла на ресурсы криля было предложено использовать соотношение между ежегодным выловом и величиной биомассы криля по данным акустических съемок [SC-CAMLR, 2014, 16]. Однако ежегодные съемки в подрайонах моря Скотия по своей продолжительности не превышают одного месяца. Таковыми, например, были акустические съемки в подрайоне Антарктического полуострова, выполненные США, и британские акустические съемки в подрайоне острова Южная Георгия. Вместе с тем под влиянием океанологических процессов в течение года в подрайонах моря Скотия может происходить многократная смена вод, сопровождаемая процессами вноса-выноса криля [Касаткина и др., 2007; Kasatkina, Shnar, 2007]. В частности, межгодовые флуктуации величин средней плотности криля в подрайоне острова Южная Георгия в зависимости от океанологических условий составляют 3 порядка величин [Sushin, Shulgovski, 1999]. О наличии значительного пополнения биомассы криля за счет пополнения путем дрейфа рачков из других районов свидетельствует уровень потребления криля хищниками, который намного превышает оценки биомассы криля по данным акустических съемок [Ratcliffe et al, 2014]. Например, оценки биомассы криля, по данным акустических съемок в подрайоне острова Южная Георгия, не превышают 1 млн т, в то время как годовые пищевые потребности популяции только одного золотоволосого пингвина (macaroni penguins *Eudyptes chrysolophus*) здесь составляют 8,08 млн т [Trathan et al, 2006].

Все сказанное выше ставит под сомнение существующую гипотезу о воздействии промысла криля на его ресурсы и потребителей криля (птиц и млекопитающих) через трофическую цепь и их конкурентные отношения и свидетельствует о необходимости учета переноса криля течениями при разработке схем управления промыслом. Научный Комитет АНТКОМ определил оценку переноса криля как одну из своих приоритетных задач на период 2017–2019 гг. [SC-CAMLR, 2016].

Структура и динамика водных масс в море Скотия определяется взаимодействием двух циркуляционных систем климатического масштаба: Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) и течения вод круговорота Уэдделла (КУ). Между ними выделяется хорошо выраженная так называемая вторичная фронтальная зона Антарктики (ВФЗА) [Масленников, 2003]. Перенос криля водными массами и формирование его распределения в море Скотия в

значительной степени связаны с изменчивостью интенсивности и направления этих циркуляционных систем.

Для анализа количественных закономерностей переноса криля используется схема геострофической циркуляции водных масс и связанные с ней величины расходов воды и плотности биомассы транспортируемого криля [Kasatkina et al., 1997]. На сегодняшний день международная акустическая съемка криля CCAMLR-2000, выполненная в течение месяца в 2000 г., предоставляет наиболее полную информацию о широкомасштабном распределении криля в море Скотия. На основе материалов съемки CCAMLR-2000 авторами были получены оценки расходов воды и биомассы криля, транспортируемой в море Скотия с запада на восток в течение 1 месяца [Касаткина и др., 2007].

Для разработки схемы управления промыслом криля также необходимо иметь оценки пространственной и временной изменчивости распределения криля под влиянием океанологических процессов за большой промежуток времени. Поэтому цель данной работы – количественная оценка пространственно-временной изменчивости факторов переноса криля в море Скотия с использованием имеющихся материалов советских комплексных учетных съемок.

Материал и методика

Материал был собран в Антарктической части Атлантики на научно-исследовательских судах НИС «Аргус» (январь–март 1984 г.) и НИС «Эврика» (октябрь–декабрь 1984 г., январь–март 1988 г.) на комплексных станциях (рис. 1). На каждой станции выполнялись океанографические работы и облов криля тралом Айзекса-Кидда в модификации Самышева-Асеева. Съемки начинались от острова Южная Георгия и охватывали обширный район между Антарктическим полуостровом и островом Южная Георгия, включая пролив Брансфилд, Южно-Оркнейские острова и восточную часть моря Скотия. Суда передвигались на запад по меридиональным разрезам до Антарктического полуострова. При такой схеме движения судов в первую очередь съемкой покрывался подрайон острова Южная Георгия (48.3), затем – подрайон Южных Оркнейских островов (48.2) и в последнюю очередь – подрайон Антарктического полуострова (48.1). В целом смещение судов происходило в направлении, противоположном генеральному направлению дрейфа вод.

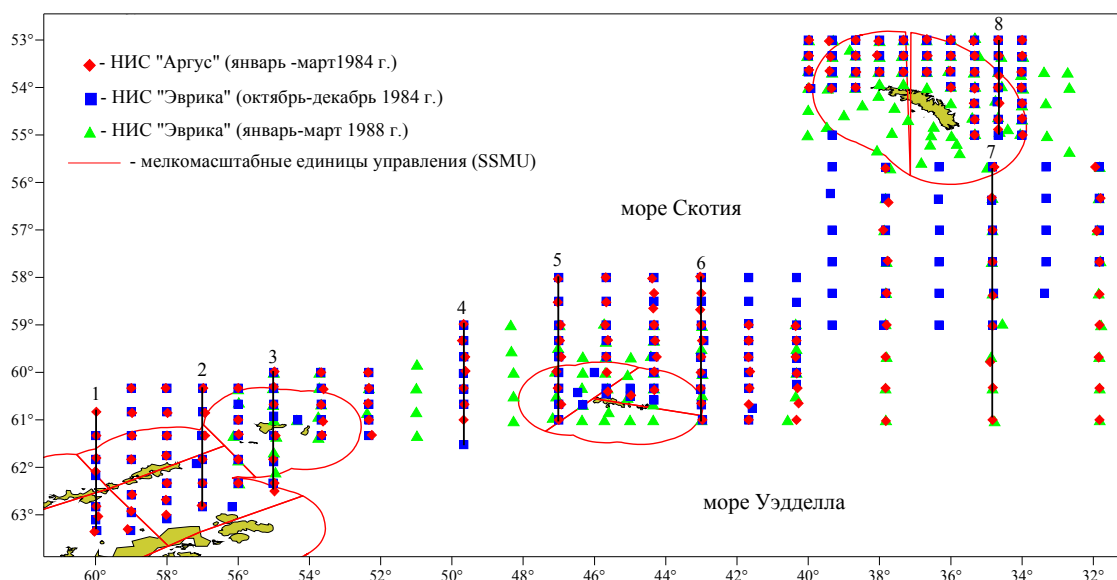


Рис. 1. Схема океанологических станций и тралений тралом Айзекса-Кидда. Цифрами обозначены разрезы для расчета расходов воды в слое 0–100 м. Тонкими красными линиями показаны мелкомасштабные единицы управления

Fig. 1. Scheme of oceanological stations and hauling by Isaacs-Kidd trawl. Numbers indicate sections for calculating the water mass transport in the 0-100 m layer. Thin red lines show small-scale management units

Предметом нашего анализа являлись схема циркуляции водных масс и связанные с ней расходы воды ($\text{м}^3/\text{с}$) и биомасса криля ($\text{г}/\text{м}^3$), переносимая водным потоком. Оценки указанных факторов переноса криля рассмотрены на примере 8-ми разрезов, проходящих через мелкомасштабные единицы управления с традиционными участками промысла в подрайонах 48.1, 48.2 и 48.3 (рис.1)

Схема циркуляции вод и величины расходов воды, наблюдаемые на полигоне указанных комплексных съемок, сопоставлялись с таковыми, полученными по данным международной съемки CCAMLR-2000 [Касаткина и др., 2005]. К сожалению, сравнение абсолютных оценок переносимой биомассы невозможно по причине использования разных методов измерений плотности криля (траловый и акустический методы).

Расчет циркуляции вод выполнялся с использованием динамического (геострофического) метода [Зубов, Мамаев, 1956]. Приведение динамических высот мелководных станций выполнялось по отношению к ближайшей глубоководной станции. Расчеты производились от поверхности 1000 дб.

Перенос криля через участок разреза рассматривался как пассивный перенос водным потоком и оценивался величиной переноса как произведение двух величин, интегрированных в слое 0–100 м: средней плотности криля ($\text{г}/\text{м}^3$) и расхода воды в Sv ($\text{км}^3/\text{час}$) через участок разреза в 1 км [Kasatkina et al., 1997].

Представленные в данной работе характеристики переноса криля, рассчитанные геострофическим методом, не учитывают ветровую составляющую (экмановский перенос). Такой подход к оценке характеристик переноса криля нам представляется допустимым ввиду несопоставимости показателей геострофического и ветрового переноса. Например, средние скорости ветрового дрейфа вдоль побережья Антарктического полуострова составляли от 0,2 до 0,3 см/сек, а рассчитанные динамическим методом скорости находились в диапазоне 8,8–20 см/сек. [Hofmann et al., 1998]. По данным съемки, выполненной на СТМ «Атлантида», (февраль–март 1996 г.), средняя величина геострофического расхода воды на границах участков промысла криля в подрайоне 48.2 составила 0.098 Sv , а аналогичная величина для ветрового дрейфа – 0,00036 Sv [Kasatkina et al, 1997].

Результаты и обсуждение

Анализ материалов трех съемок выявил значительную межгодовую и сезонную пространственно-временную изменчивость циркуляции водных масс в море Скотия, четко прослеживаемую как в приостровных, так и океанических районах. Это свидетельствует, что криль, поступающий в море Скотия из тихоокеанского сектора Антарктики через район Антарктического полуострова и из моря Уэдделла, может по-разному переноситься вдоль генерального направления дрейфа на север и северо-восток вдоль дуги Скотия (рис. 2–4).

Общей чертой в распределении криля на этих трех съемках является наличие квазистационарных скоплений криля в островных зонах и акваториях, прилегающих к Южным Оркнейским, Южным Шетландским островам и Антарктическому полуострову [Sushin, Shulgovsky, 1999]. Распределение криля в восточной части съемки в значительной степени изменяется. Так, в январе–марте и октябре–декабре 1984 г. криль в восточной части и в подрайоне острова Южная Георгия почти полностью отсутствовал.

Анализ результатов съемок показывает, что в море Скотия имеет место значительная пространственная и временная неоднородность интенсивности водного потока, которая наглядно проявляется в изменчивости величины и направления расходов воды, регистрируемых на разрезах съемок [Shnar, Kasatkina, 2016]. Эта изменчивость имеет место как от разреза к разрезу, так и вдоль разрезов съемок. Перенос криля, представленный величинами его биомассы, переносимой в слое 0–100 м за 1 час через 1 км разреза, также характеризуется значительной пространственно-временной изменчивостью. Наличие

благоприятных динамических условий не всегда сопровождается переносом биомассы криля. Это наглядно прослеживается на данных съемки НИС «Эврика», выполненной в октябре–декабре 1984 г. (рис. 5, 6). Направление переноса с востока на запад показано как «+», а с запада на восток как «-». Отмеченная специфика переноса криля в море Скоттия наглядно иллюстрируется сравнением факторов переноса криля, полученных на одних и тех же разрезах (разрез 2 и разрез 6) по данным нескольких съемок (рис. 7–9).

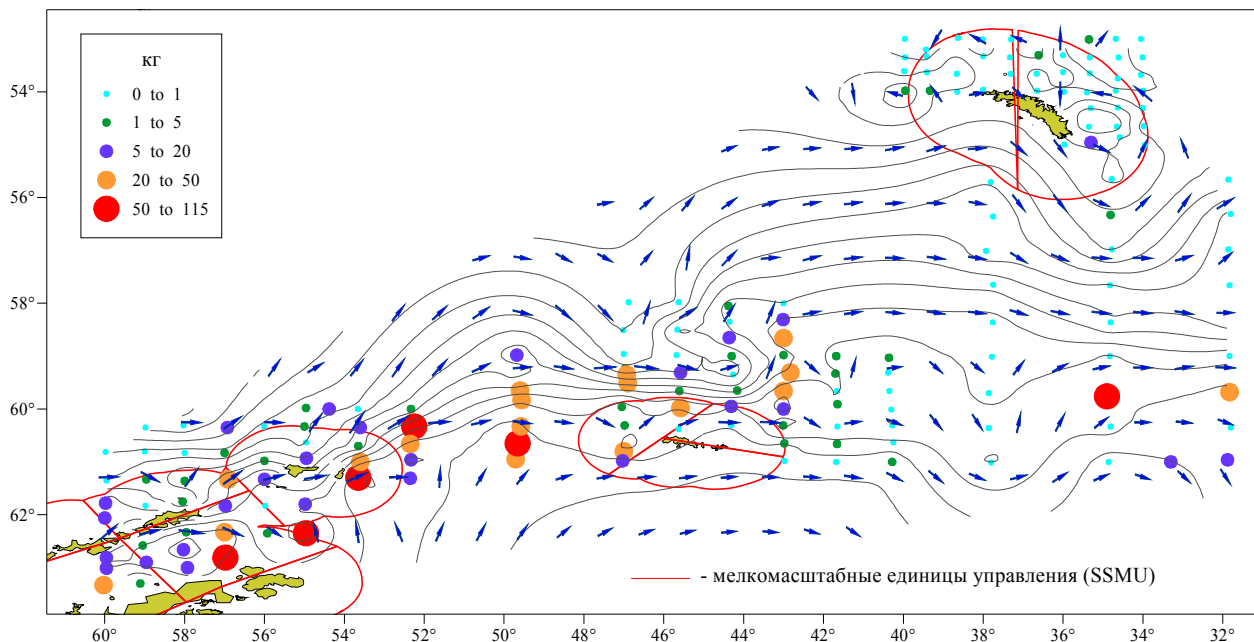


Рис. 2. Циркуляция вод и уловы криля за 30 минут траления тралом Айзекса-Кидда (НИС «Аргус», январь–март 1984 г.)

Fig. 2. Water circulation and krill catches obtained for 30 minute hauling by Isaacs-Kidd trawl, (R/V «Argus», January–March 1984)

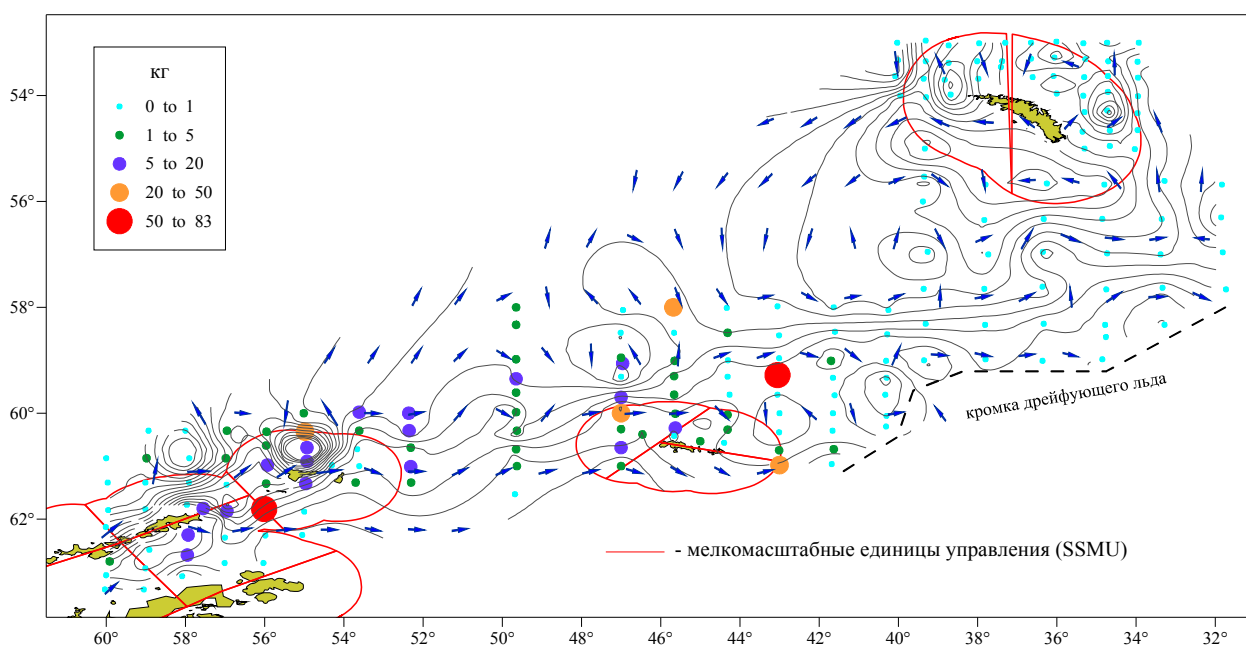


Рис. 3. Циркуляция вод и уловы криля за 30 минут траления тралом Айзекса-Кидда (НИС «Эврика», октябрь–декабрь 1984 г.)

Fig. 3. Water circulation and krill catches obtained for 30 minute hauling by Isaacs-Kidd trawl

(R/V «Evrika», October–December 1984)

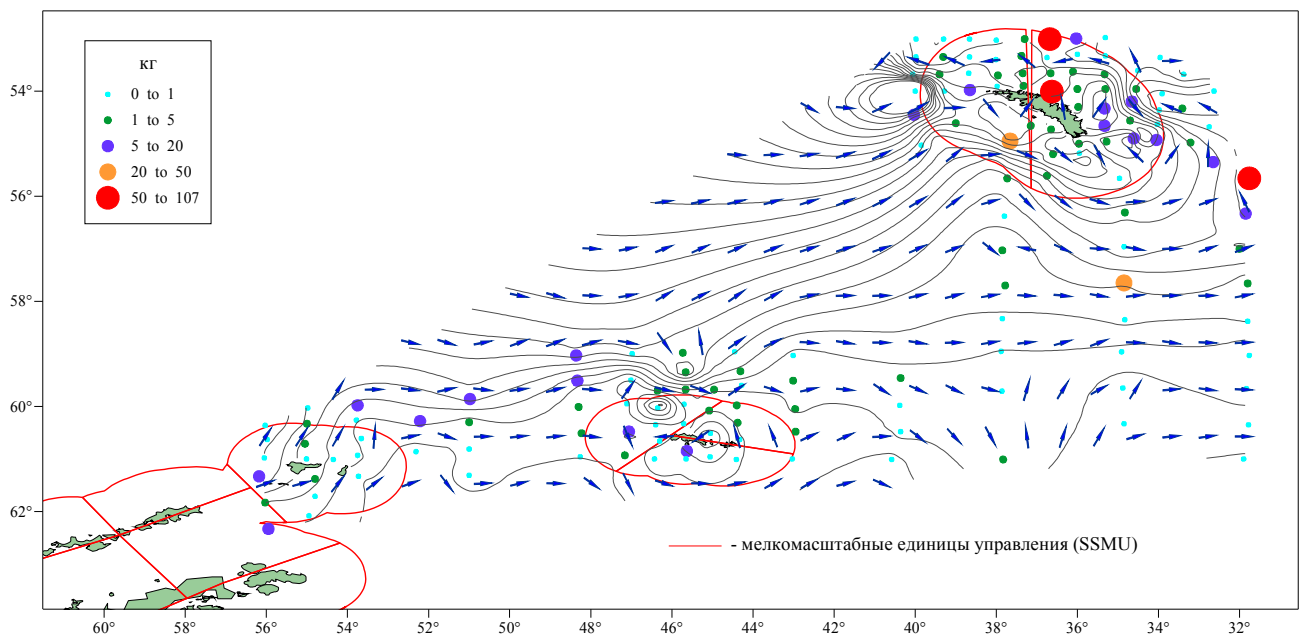


Рис. 4. Циркуляция вод и уловы криля за 30 минут траления тралом Айзекса-Кидда (НИС «Эврика», январь–март 1988 г.)
 Fig. 4. Water circulation and krill catches obtained for 30 minute hauling by Isaacs-Kidd trawl (R/V «Evrika», January–March 1988)

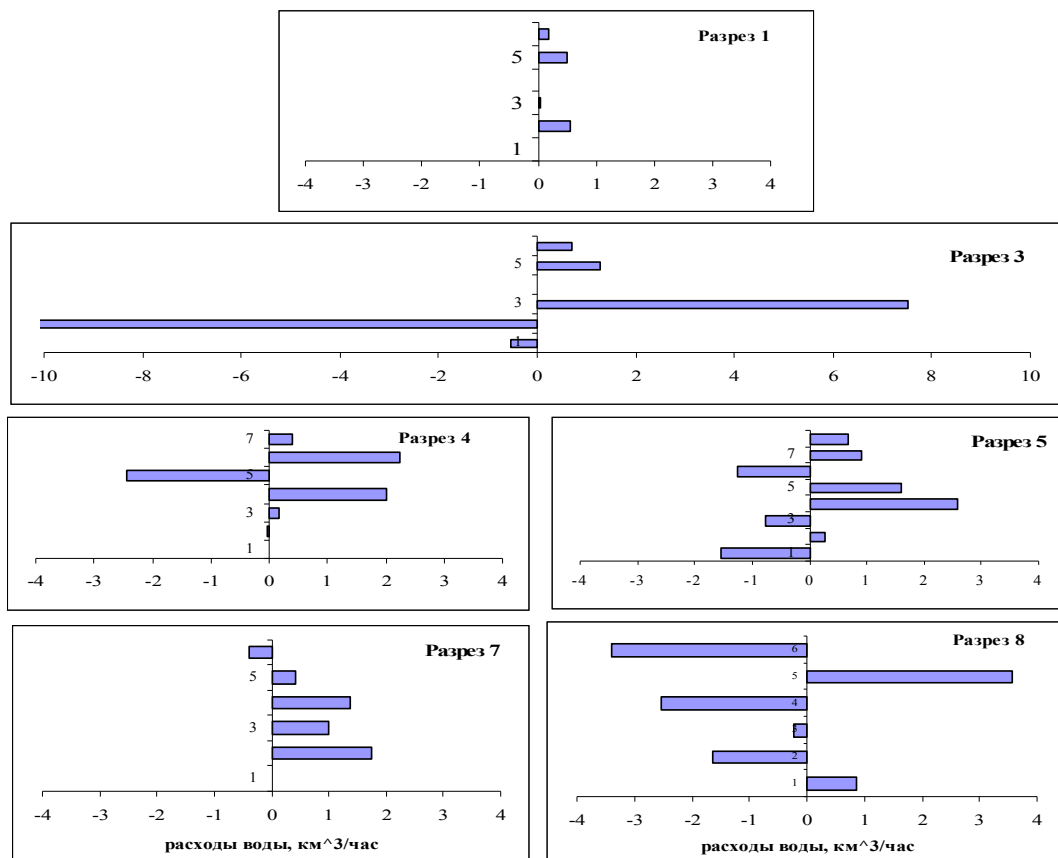
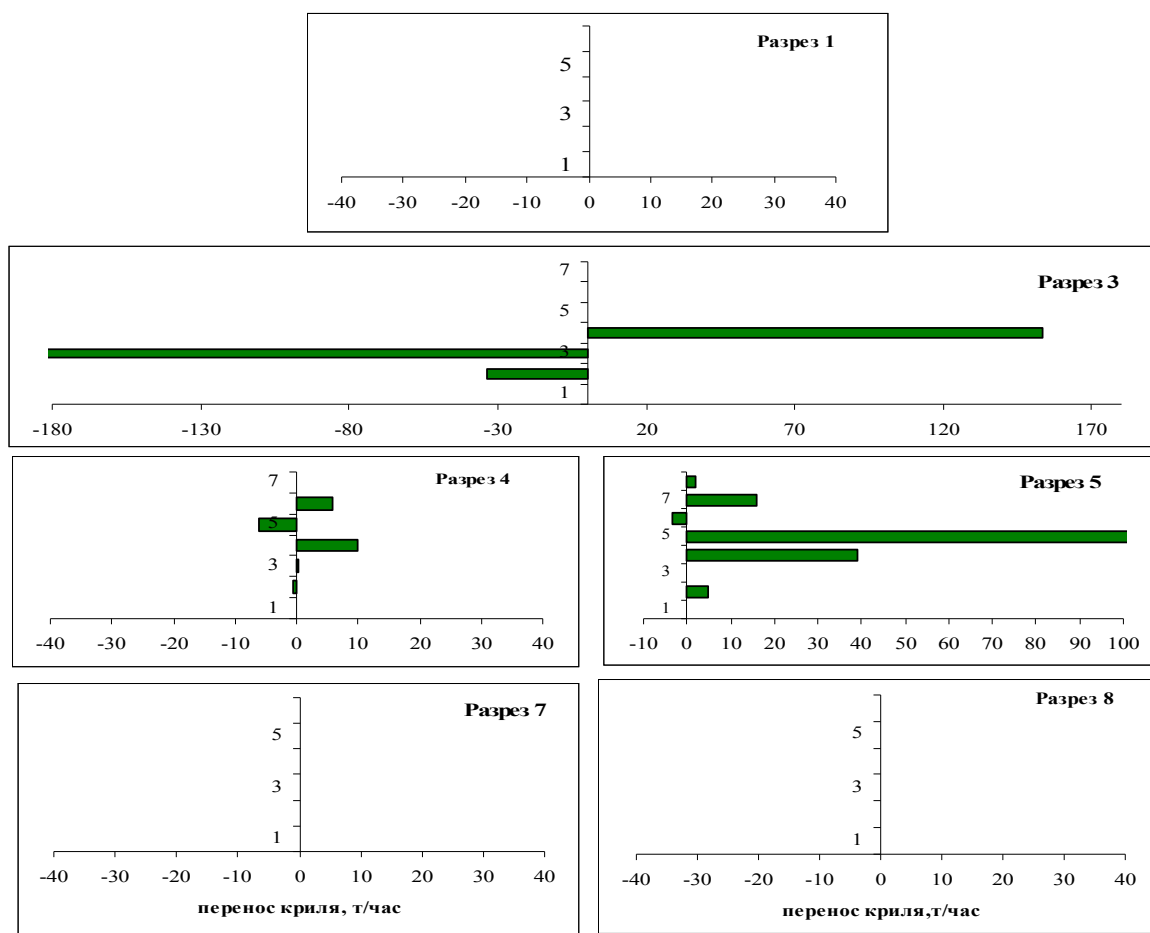


Рис. 5. Оценки расходов воды между станциями на разрезах съемки (НИС «Эврика», октябрь–декабрь 1984 г.)
 Fig. 5. The water transport values between stations on sections of the survey



(R/V «Evrika», October–December 1984)

Рис. 6. Оценки биомассы (т/час), переносимой в слое 0–100 м через 1 км на разрезах съемки (НИС «Эврика», октябрь–декабрь 1984 г.)

Fig. 6. Estimates of the biomass values (t / h) transported in the 0–100 m layer across 1 km in the survey sections (R/V «Evrika», October–December 1984)

Интенсивность переноса криля в слое 0–100 м через 1 км на указанных выше 8-ми разрезах (рис. 1) изменяется от 0 до 290 т/час, что свидетельствует о широком диапазоне пространственно-временной изменчивости переноса криля в море Скотия. Средние величины транспортировки криля в слое 0–100 м через 1 км разрезов составили: а) от 0 до 17 т/час в январе–марте 1984 г.; б) от 0,1 до 25 т/час в октябре–ноябре 1984 г.; и в) от 0,28 до 65,6 т/час в январе–марте 1988 г.

Разрез 2 пересекает проливы Брансфилд и Дрейка (рис. 1). Средняя величина биомассы криля, переносимой через 1 км на разрезе 2, составляла 5,83 т/час в январе–марте 1984 г. и 5,89 т/час в октябре–декабре 1984 г. При такой интенсивности переноса величина биомассы, проносимой через проливы Дрейка и Брансфилд (через весь разрез 2), составляла около 640 тыс. т в месяц и могла достичь 3,19 млн т за промысловый сезон (лов криля ведется с января по май).

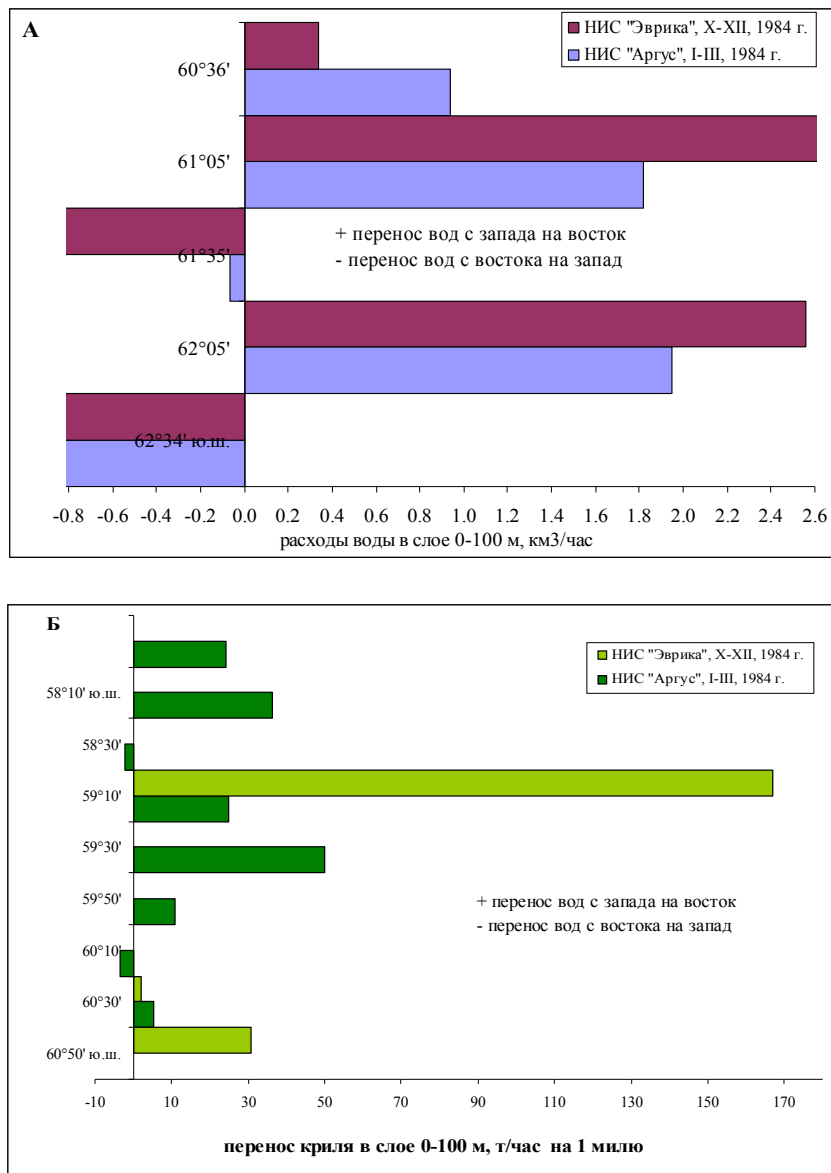


Рис. 7. Изменчивость факторов дрейфа между станциями на разрезе № 6 (НИС «Эврика», январь–март 1988 г. и НИС «Аргус», январь–март 1984 г.).
А – изменчивость расходов воды в слое 0–100 м; Б – изменчивость биомассы криля, переносимой в слое 0–100 м через 1 км разреза
Fig. 7. Variability of drift factors between stations in the section № 6 (R/V «Evrika», January–March 1988 and R/V «Argus», January–March 1984).
А – variability of the water mass transport in the 100 m layer; Б – variability of krill biomass transported in the 0-100 m layer across 1 km of the section

Более полное представление о величине биомассы криля, вносимой в восточную часть моря Скотия, дают количественные оценки дрейфа через разрез 6, расположенный к востоку от Южных Оркнейских островов. Средняя интенсивность переноса через 1 км разреза 6 в январе–марте 1984 г. составляла 16,23 т/час и в октябре–декабре 1984 г. – 24,96 т/час. Величина биомассы криля, переносимой в течение месяца через весь разрез, составляла: 2,12 млн т в январе–марте 1984 г. и 3,25 млн т в октябре–декабре 1984 г. Лов криля в подрайоне 48.2, как правило, ведется в феврале–июне. За такой промысловый сезон биомасса криля, вносимая в

восточную часть моря Скотия (через разрез 6), может составить 10,61 млн т и 16,18 млн т соответственно.

Таким образом, полученные количественные оценки объемов переносимого криля в море Скотия дали убедительные свидетельства о значительном пополнении здесь биомассы криля за счет его дрейфа из тихоокеанского сектора Антарктики. При этом в море Скотия имеет место значительная пространственная и временная неоднородность интенсивности как водного потока, так и переноса криля. Однако наличие благоприятных динамических условий не всегда сопровождается переносом биомассы криля. Расчеты показывают, что только через пролив Брансфилд и пролив Дрейка может вноситься около 640 тыс. т криля в месяц, что составляет 3,19 млн т за 5 месяцев промысла в подрайоне Антарктического полуострова.

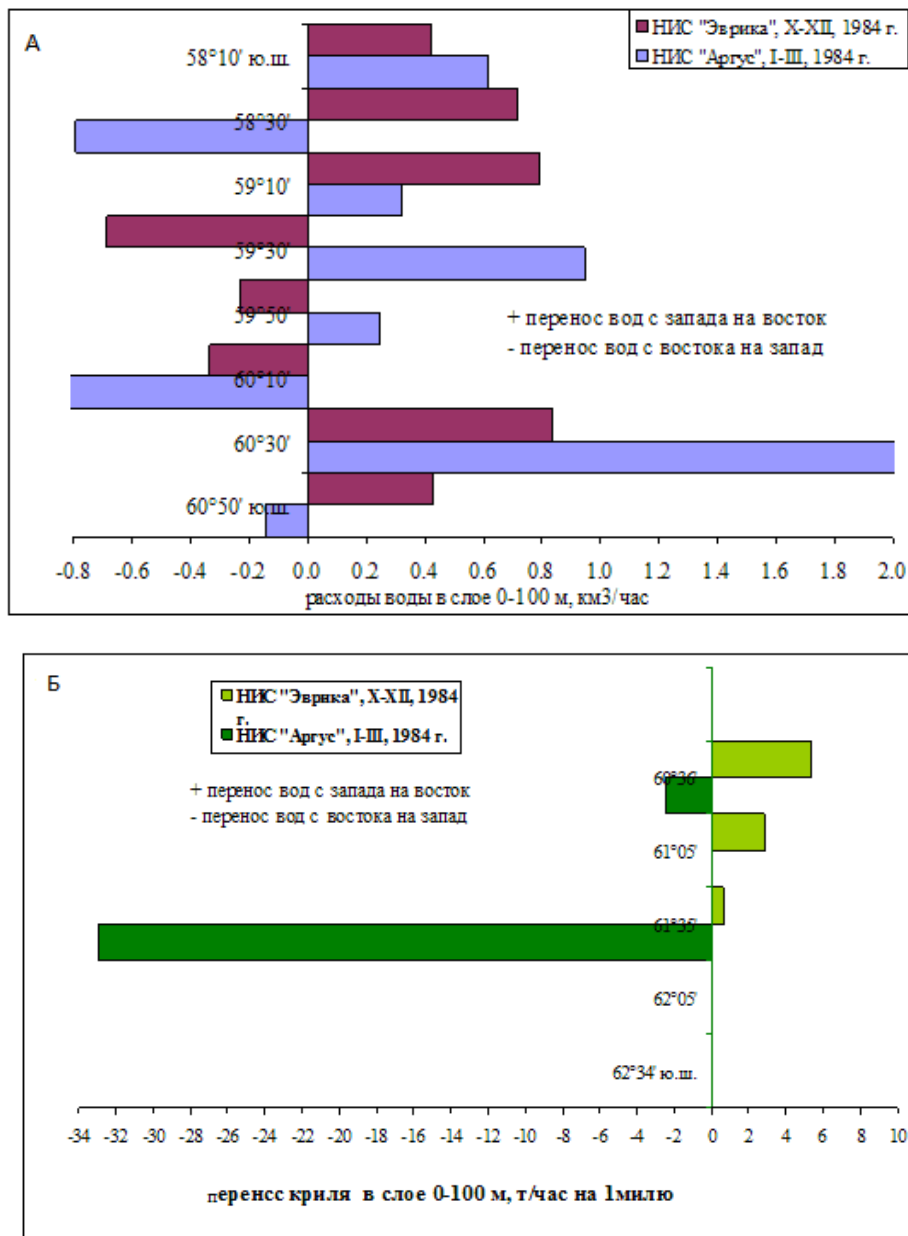


Рис. 8. Изменчивость факторов дрейфа криля расходов на разрезе № 2 (57° з.д.) (НИС «Эврика», январь–март 1988 г. и НИС «Аргус», январь–март 1984 г.).

А – изменчивость расходов воды в слое 0–100 м; Б – изменчивость биомассы криля, переносимой в слое 0–100 м через 1 км разреза

Fig. 8. Variability of krill drift factors in the section № 2 (57° W) (R/V «Evrika», January–March 1988 and R/V «Argus», January–March 1984). A – variability of the water mass transport in the 100 m layer; Б – variability of krill biomass transported

in the 0–100 m layer across 1 km of the section

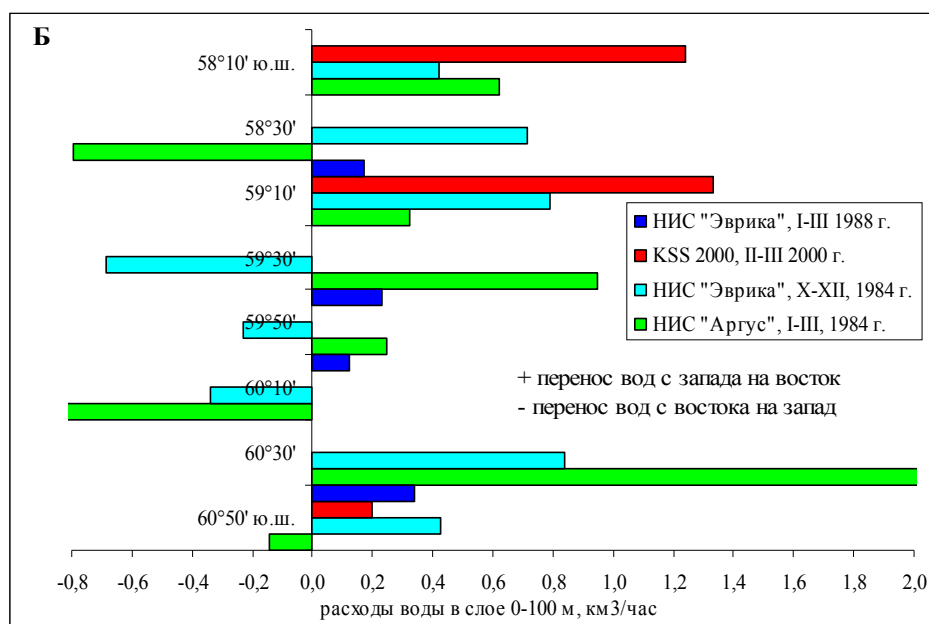


Рис. 9. Изменчивость расходов воды на разрезе № 2 (57° з.д.), пересекающем проливы Брансфилд и Дрейка. Расчеты выполнены по данным 4-х экспедиций

Fig. 9. Variability of the water mass transport in the section № 2 (57° W) crossing the Bransfield Strait and Drake Passage. Calculations are performed based on the data obtained in the course of 4 expeditions

Общая величина биомассы криля, вносимой в восточную часть моря Скотия через подрайон Антарктического полуострова и из моря Уэдделла за 5 месяцев промысла, может составить от 10,61 до 16,18 млн т. Эти оценки сопоставимы с оценками переноса криля в 7 млн т, полученными по данным советской съемки, выполненной в прибрежной части севернее Южных Оркнейских островов в 1996 г. [Kasatkina et al., 1997].

Переносимая биомасса криля за промысловый сезон в подрайонах моря Скотия несопоставима ни с величиной ежегодного вылова криля, составляющего менее 300 тыс. т в последние 25 лет, ни с величиной временно действующего порогового вылова криля (620 тыс. т), в десятки раз превышает их. Более того, величина вносимой биомассы криля в море Скотия значительно превышает установленную здесь величину предохранительного ограничения на вылов (5,61 млн т).

Заключение

Изложенные материалы дают основания предположить, что наличие, отсутствие или величина биомассы криля в том или ином подрайоне моря Скотия в большей степени является отражением особенностей его переноса течениями, а не определяется состоянием запаса криля и тем более снижающим влиянием промысла на промысловых участках. Разработки схем управления ресурсами криля требуют изучения характера изменчивости его распределения под влиянием переноса течениями в различных пространственно-временных масштабах.

Список литературы

Зубов Н.Н., Мамаев О.И. Динамический метод вычисления элементов морских течений. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 166 с.

Масленников В.В. Климатические колебания и морская экосистема Антарктики. Москва: ВНИРО, 2003. 295 с.

Касаткина С.М., Шнар В.Н., Бережинский О.В. Оценка переноса криля течением как важный фактор в управлении его запасами в море Скотия // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2004–2005 годах. Калининград : АтлантНИРО, 2007. Т 1. С. 46–58.

Шульговский К.Е. Крупномасштабная изменчивость океанологических условий в западной части Атлантического сектора Антарктики и ее влияние на распределение криля. Калининград : АтлантНИРО, 2005. 148 с.

Fach B.A., Hofmann E.E., Murphy E.J. Modeling studies of Antarctic krill survival during transport across the Scotia Sea. *Marine Ecology Progress Series* 231. 2002. P. 187–203.

Kasatkina S.M., Shnar V.N. Investigations of krill transport factors in the local areas in the Scotia Sea: variability of krill distribution in the fishing grounds under the transport impact. Document WGEMM-07/ 41, Hobart, Australia .

Assessment of krill Flux Factors in Waters of the South Orkney Islands During Summer 1996. S.M. Kasatkina [et al.] *CCAMLR Science*, Vol. 4: 1997. P. 194–204.

Marr S.W.S. The natural history and geography of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) // *Disc.Rep.* Vol. 32. 1962. P. 33–464.

Modeling krill transport pathways in the Scotia Sea: spatial and environmental connections generating the seasonal distribution of krill. E. Mupphy [et al.]. *Deep-Sea Research II*, vol.51, Nos.12–13. 2004. P. 1435–1456.

Shnar V.N., Kasatkina S.M. Some aspects of spatial–temporal variability of hydrodynamic water circulation and krill distribution in the Scotia Sea // *CCAMLR Working Group on Ecosystem Monitoring and Management* (Bologna, Italy, 4 to 16 July 2016). Document WGEMM-16/39. 2016. – 15 p.

SC-CAMLR, 2014. Report of the Working Group on Ecosystem Monitoring and Management. In: *Report of the Thirty-third Meeting of the Scientific Committee (SC-CAMLR-XXXIII)*, Annex 6. CCAMLR, Hobart, Australia. 2014. P. 187–274.

SC-CAMLR, 2016. Report of the Working Group on Ecosystem Monitoring and Management. In: *Report of the Thirty-fifth Meeting of the Scientific Committee (SC-CAMLR-XV)*, Annex 6. CCAMLR, Hobart, Australia. 2016. P. 13–24.

SC-CAMLR, 2016. Report of the Thirty-fifth Meeting of the Scientific Committee (*SC-CAMLR-XV*), CCAMLR, Hobart, Australia. 2016. P. 1–87.

Sushin V.A., Shulgovsky K.E. 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 Issacs-Kidd Midwater Trawl // *CCAMLR Science*. Hobart, Australia. Vol. 6. 1999. P. 59–70.

Foraging dynamics of macaroni penguins *Eudyptes chrysolophus* at South Georgia during brood-guard. P.N. Trathan [et al.]. *MarineEcology-Progress Series*, 323, 2006. P. 239–251.