

УДК 639.2.053.7(26)

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНИВАНИЯ ЗАПАСОВ КРИЛЯ *Euphausia superba* Dana В АРЕАЛЕ ПО ДАННЫМ ТРАЛОВЫХ И ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Л.А.Ковальчук

Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Киев, пр.Науки 37, LeonidKovalchuk@ukr.net

Реферат. Предлагается количественный метод описания массовых скоплений криля по многолетним данным траловых и гидроакустических съёмок. Достоверное оценивание запасов криля обеспечивается вероятностным методом площадей, требующим знания законов статистических распределений криля и естественных границ районов его равновероятных концентраций. Пространственному распределению плотности популяции криля свойственны смешанные законы статистических распределений в ареале его обитания, что потребовало приведения методик траловых и гидроакустических съёмок концентраций криля, процедур обработки полученных результатов в соответствие с законами статистических распределений концентраций и правилами метрологии. Районирование ареала криля предложено выполнять на основе принципа равновероятных концентраций вместо традиционного принципа равновеликих концентраций. Выявлены метрологические особенности оценивания плотности популяции криля. Ввиду отсутствия измерительных эталонов плотности популяции криля в естественной среде принципиально невозможно структурировать систематические и случайные погрешности её оценивания, определить их вклад в конечную оценку запаса. Корректная оценка возможна на основе предложенных специальных принципов метрологии: “воспроизводимости” параметров статистических распределений криля и “минимизируемости” погрешностей оценивания концентраций. Режим оценивания плотности популяции криля должен определяться достоверностью и допустимой погрешностью оценок запаса. Традиционные представления о системе наблюдения за запасом криля должны быть дополнены: законами и параметрами статистических распределений плотности популяции криля; информацией об источниках ошибок средств и методов её оценивания; стандартизованными методиками минимизации погрешностей оценивания с учётом биологических особенностей развития криля.

Странам участникам Антарктического Соглашения предлагается установить методические стандарты и единые критерии оценки параметров статистических распределений плотности популяции криля, обеспечивающие минимальные погрешности процедуры оценивания. Достоверная оценка запасов криля требует совершенствования технических средств и систем наблюдения. Расчёт плотности популяции криля должен осуществляться на основе дельта распределения Эйтчисона. Исходными положениями при стратегическом планировании промысла криля должны стать биологически обоснованные оценки численности популяции криля, при которых выполняются требования к достоверности и допустимой погрешности оценок плотности популяции.

Методологія оцінювання запасів криля *Euphausia superba* Dana в ареалі за даними тралових і гідроакустичних спостережень. Л.А. Ковальчук

Реферат. Пропонується кількісний метод опису масових скупчень криля за багаторічними даними тралових і гідроакустичних зйомок. Достовірне оцінювання запасів криля забезпечується ймовірностним методом площин, що вимагає знання законів статистичних розподілів криля і природних кордонів району його рівномірних концентрацій. Просторовому розподілу щільності популяції криля властиві змішані закони статистичних розподілів в ареалі його існування, що вимагало приведення методик тралових і гідроакустичних зйомок концентрацій криля та процедур обробки отриманих результатів у відповідність із законами статистичних розподілів концентрацій і правилами метрології. Районування ареалу криля запропоновано виконувати на основі принципу рівномірних концентрацій замість традиційного принципу рівновеликих концентрацій. Виявлено метрологічні особливості оцінювання щільності популяції криля. Через відсутність вимірювальних еталонів щільності популяції криля в природному середовищі принципово неможливо структурувати систематичні і випадкові похибки її оцінювання, визначити їхній внесок у кінцеву оцінку запаса. Коректна оцінка можлива на основі запропонованих спеціальних принципів метрології: “відтворюваності” параметрів статистичних розподілів криля і “мінімізованості” похибок оцінювання концентрацій. Режим оцінювання щільності популяції криля повинен визначатися вірогідністю і припустимою похибкою оцінок запаса. Традиційні уявлення про систему спостережень запасів криля повинні бути доповнені: законами і параметрами статистичних розподілів щільності популяції криля; інформацією про джерела помилок засобів і методів її оцінювання; стандартизованими методиками мінімізації похибок оцінювання з урахуванням біологічних особливостей розвитку криля.

Країнам учасникам Антарктичної Угоди пропонується прийняти методичні стандарти та єдині критерії оцінки параметрів статистичних розподілів щільності популяції криля, що забезпечить мінімальні похибки процедури оцінювання. Достовірна оцінка запасів криля вимагає удосконалювання технічних засобів і систем спостереження. Розрахунок щільності популяції криля треба здійснювати на основі дельта розподілу Ейтчисона. Вихідними положеннями при стратегічному плануванні промыслу криля повинні стати біологічно обґрунтовані оцінки чисельності популяції криля, при яких виконуються вимоги до вірогідності і припустимої похибки оцінок щільності популяції.

Resources Evaluation of Antarctic Krill *Euphausia superba* Dana using Areal Trawling and Hydro-acoustic Data by L.A. Kovalchuk

Abstract. Quantitative method for describing krill mass congestions based on perennial observations using trawling and hydro-acoustic data is proposed. Reliable evaluation of krill resources is provided with probability methods and spatial analyses requiring knowledge of statistical distribution rules applicable for natural habitat and equal probability concentrations. Spatial analyses of krill population densities have shown mixed rules of statistical distribution over its natural habitat. Data analyses procedures applied for trawling and hydro-acoustic sampling have to in compliance with the rules of statistical distribution and principles of metrology. Division of natural habitat of the Antarctic krill into regions is based on a principle of equal probability applied for congestions instead of the principle of equal proportions. Metrological features of evaluating population densities of krill are revealed. Standard measures for the population densities of krill in natural habitat are not available, thus it is principally impossible to structure systems and random errors in evaluating process, to define their impact on final evaluation of the resource. Special metrological principles are required and proposed for the correct evaluations based on reproducibility of statistic distribution parameters for krill and minimizing miscalculations in evaluations of congestions. Evaluations regime applied for the population density of krill should be defined by reliability and admissible error of estimated resource. Traditional concepts of observation system concerning the resources of krill should be further developed with applications of rules and parameters dealing with statistical distributions of population density, information about sources of errors, tools and methods of evaluation, standard techniques of minimizing errors in evaluations taking into account biological features of krill development.

Methodical standards and uniform evaluation criteria for parameter evaluations of statistical distributions should be proposed to the Countries participating in the Antarctic Treaty as proceedings regarding minimal errors in the evaluation procedure. Reliable evaluation of krill resources requires advanced technical tools and observation systems. Population density values for krill should be calculated using Aitchison delta distribution. Primary statements regarding the krill in strategic planning for fisheries should include relevant biologically valid evaluations of population numbers for krill with the maintained reliability requirements and reasonable errors in evaluating the density of populations.

Key words: Antarctic krill resources, Delta distribution, evaluation

1. Введение

Оценивание запасов криля является ключевым вопросом оптимальной эксплуатации живых ресурсов антарктического региона. Ареал его обитания опоясывает Антарктиду, охватывая южные части Атлантического, Индийского и Тихого океанов, а также акватории 12 антарктических морей, что составляет около 20 млн. км² (Самышев, 1997). Оценки запасов криля выполняются под эгидой Научного комитета Международной комиссии по сохранению морских живых ресурсов Антарктики – АНТКОМ (CCAMLR) и производятся традиционным методом площадей. Обычно, по результатам траловых или акустических съёмов выделяются районы равновеликих значений плотности популяции криля, определяются значения средней плотности популяции по районам, которые затем умножаются на площадь соответствующих районов и полученные произведения суммируются (Методические, 1989; Руководство, 1984). Полученные таким образом оценки запасов, однако, не сопровождаются указаниями об их точности и достоверности (Nicol et al., 2000), ввиду ошибочности исходной посылки о возможности образования районов равновеликих значений плотности популяции криля. Приводимые в научных публикациях оценки запасов *E.superba* колеблются от 50 млн. т до 25 млрд. т (Самышев, 1997; Nicol et al., 2000). Такие расхождения являются следствием не только грубых ошибок, но и принципиальных методологических заблуждений относительно процесса оценивания.

Цель настоящей работы – разработать методологию оценивания запасов криля, основанную на фундаментальных закономерностях функционирования Южного океана, определяющих образование районов равновероятных значений плотности его популяции.

2. Методика и материалы

Предпосылкой метода является гипотеза, утверждающая, что пространственному распределению плотности популяции криля (удельной численности или удельной биомассы) свойственны смешанные законы статистических распределений. Суть метода заключается в приведении траловых и гидроакустических съёмов концентраций криля, процедур обработки полученных результатов в соответствие с законами статистических распределений плотности популяции криля и требованиями метрологии.

В связи с этим потребовалось выявить метрологические особенности оценивания плотности популяции криля, выполнить анализ погрешностей средств и методов её оценивания и обосновать возможность их минимизации; найти вероятностное описание законов статистических распределений плотности популяции криля и разработать методику выделения границ районов её равновероятных значений.

Исходным материалом для работы послужили опубликованные результаты анализа планктонных сообществ ареала криля и закономерностей распределения его популяции (Антарктический, 2001; Парфенович, 1982; Макаров и др., 1993; Масленников, 1995; Самышев, 1991, 2000; Самышев и др., 2000), обзор технических приёмов определения запасов криля (Руководство, 1984; Brierley et al., 1998; Nicol et al., 2000), а также опыт оценивания запасов черноморских гидробионтов (Ковальчук, 2001; Kovalchuk, Bryantseva, 2001; Kovalchuk, Litvinenko, 2001).

3. Обсуждение результатов исследования

3.1. Метрология определения плотности популяции криля.

В основе системы наблюдений за концентрациями криля лежат правила метрологии, разработанные преимущественно для измерения физических величин. Однако имеются принципиальные различия между измерением физических величин и определением плотности популяции криля.

Сущность измерения физической величины заключается в сравнении её с эталоном измерения. При этом физическая величина характеризуется истинным значением, которое может быть получено только в результате бесконечного процесса измерений непрерывно совершенствуемыми методами и средствами. Вместо истинного значения для практических потребностей используют так называемое действительное значение физической величины, получаемое экспериментальным путём, важным свойством которого является то, что по мере увеличения количества измерений действительное значение приближается к истинному значению, оставаясь при этом воспроизводимым. Напротив, при количественном определении плотности популяции криля каждое последующее её значение может существенно отличаться от предыдущего и, по мере увеличения количества определений, они не приближаются к некоему истинному значению, в результате чего не являются воспроизводимыми. Следовательно, в задаче определения плотности популяции криля, строго говоря, не может использоваться понятие “измерение”, как совокупность операций по применению технического средства, хранящего эталон удельной численности криля. Целесообразно употреблять термин “оценивание”, как совокупность операций, обеспечивающих количественное определение плотности популяции криля.

В качестве объекта статистического оценивания предлагается рассматривать параметры законов статистических распределений плотности популяции криля: среднее значение и стандартное отклонение. В таком случае результаты статистического оценивания являются воспроизводимыми, что открывает путь к минимизации погрешностей оценивания и расчёту вероятностей обнаружения требуемой плотности популяции криля. Располагая воспроизводимым значением средней плотности популяции в заданной точке ареала, каждое фактически определённое значение плотности популяции в этой точке может рассматриваться, как случайное отклонение относительно воспроизводимого среднего значения. Это позволяет ввести понятие случайной погрешности оценивания средней плотности популяции и привлечь процедуры минимизации погрешностей её оценивания, разработанные в математической статистике.

3.2. Минимизация погрешностей оценивания средней плотности популяции криля

Минимизация погрешностей измерений методом статистического усреднения правомерна в том случае, если случайная составляющая погрешности измерения дважды превышает систематическую составляющую погрешности (Новицкий, Зограф, 1985). В

гидробиологических исследованиях этот метод осознано применяется крайне редко, т.к. ещё не исследованы соотношения случайной и систематической составляющей погрешностей оценивания средней плотности популяции. В соответствии с нормативными документами погрешности любых измерений оцениваются относительно эталонных мер, что позволяет разделять погрешности на случайные и систематические, инструментальные и методические. Однако принцип эталонных мер неприменим к оцениванию плотности популяции криля, хотя в какой-то мере его пытаются использовать при градуировке шкалы эхоинтегратора (Руководство, 1984). В этой связи рассмотрим источники погрешностей оценивания плотности популяции криля. В течение гидроакустической или траловой съёмки плотность популяции криля в любой точке обследуемой акватории может изменяться на порядки под влиянием синоптических ситуаций. В таком случае разброс исходных данных оценивания плотности популяции криля складывается из погрешности средств оценивания, погрешности метода оценивания и погрешности, возникающей из-за диффузности плотности популяции криля. Каждая из названных погрешностей, в свою очередь, имеет случайную и систематическую составляющую.

Случайная составляющая погрешности работы трала, вызванная условиями постановки трала и условиями траления, прежде всего волнением, составляет 20–30%. *Случайная* составляющая погрешности работы акустической системы (эхолот-эхоинтегратор), обусловленная волнением, термодинамической структурой вод, наличием звукорассеивающих слоёв, может достигать 50% (Руководство, 1984; Brierley et al., 1998).

Систематическая составляющая погрешности средств измерений, согласно стандартам, устанавливается аттестацией по образцовым мерам, что практически неосуществимо для тралов и акустических систем при оценивании концентраций криля в естественных условиях. Проведение сквозной градуировки или интерградуировки (Руководство, 1984) в какой-то мере лишь минимизирует относительную систематическую составляющую погрешности акустической системы. Если объект уверенно регистрируется гидроакустическим прибором, когда случайная составляющая погрешности измерения акустической системы минимальна, то точность определения плотности скопления зависит главным образом от погрешности цены деления шкалы интегратора, которая может находиться в пределах $\pm 50\%$ (Руководство, 1984). Различия температуры воды в районе калибровки ($16,6^\circ\text{C}$) и районе съёмки ($2,3^\circ\text{C}$) приводят к недооценке биомассы криля на 52,2% (Brierley et al., 1998). Акустические системы практически не регистрируют фоновые рассредоточенные скопления криля менее $0,5$ т/миля², а также концентрации криля в поверхностном слое выше глубины 8 – 10 метров, что обусловлено осадкой судна и расположением гидроакустической антенны (Руководство, 1984).

К *систематической* составляющей погрешности акустической системы следует отнести результаты работы эхоинтегратора. В реальных условиях величина эхосигналов от скоплений сильно флуктуирует от посылки к посылке, поэтому с помощью интегратора определяют лишь усреднённые за серию импульсов значения плотности скопления. После градуировки шкалы интегратора значения плотности скопления получают в т/миля², которые затем пересчитываются в г/м². Интервал интегрирования обычно принимают равным 1 мили и хотя на протяжении одной мили могут быть проинтегрированы эхосигналы от скоплений различной плотности, вычисленное значение плотности в г/м², которое по сути является усреднённой характеристикой, не сопровождается ни стандартным отклонением ни критерием достоверности. Расчёт удельной численности криля PD (krill/m³), как частного от деления средней объёмной акустической силы каждого скопления $S_v(\text{m}^{-1})$ на среднюю акустическую силу одного экземпляра криля $\sigma(\text{m}^2)$ в скоплении также не сопровождается критериями достоверности. В итоге оценки запаса также не сопровождаются критериями достоверности. Учитывая, что любые усреднённые величины приобретают свойства гауссовского распределение, напрашивается вывод о том, что акустическое зондирование преобразовывает законы статистических распределений криля в гауссовские и, следовательно, полученные статистические параметры являются смещёнными, а оценки запасов криля некорректными.

Случайная составляющая метода оценивания, не связанная со средствами оценивания, складывается из ошибок определения местоположения плавсредства относительно

облавливаемых скоплений и ошибок из-за влияния погодных условий на процесс облова. Вклад *случайной* составляющей метода оценивания в интегральную оценку запасов криля не изучен.

Систематическая составляющая погрешности метода оценивания, не связанная с измерительными средствами, зависит от соблюдения сроков и продолжительности учётной съёмки, нарушение которых может повлечь биологически значимые изменения в состоянии криля; от соблюдения границ районов статистически однородных распределений криля, не учёт которых может привести к смещённым оценкам.

Погрешность, вызванная диффузностью гидробионта, – *случайная* по своей природе, как результат воздействия множества факторов, совместный эффект воздействия которых непредсказуем.

Рассмотрим, каким образом могут быть учтены или минимизированы перечисленные погрешности. Известно, что *случайные* неустранимые погрешности любого рода минимизируются методом статистического усреднения. *Систематические* составляющие погрешности средств оценивания учитываются посредством их технических характеристик, в частности коэффициентов уловистости, устанавливаемых экспериментально при сравнении результатов обловов различными средствами, хотя такие оценки нельзя считать абсолютными. *Систематические* составляющие метода оценивания указываются в паспорте метода, что остаётся до настоящего времени насущной задачей гидробиологической метрологии. Таким образом, не существует проблемы минимизации *случайных* составляющих результирующей погрешности оценивания, но принципиально не решённой остаётся проблема определения *систематической* составляющей погрешности метода оценивания, значимость чего нивелируется, если верна гипотеза о двойном превышении случайной составляющей над систематической составляющей результирующей погрешности оценивания плотности популяции криля. Косвенным подтверждением этой гипотезы являются наблюдаемые значения плотности популяции, которые изменяются от фоновых значений 0,1 г/м² до 150 кг/м², т.е. случайные различия двух последовательных определений удельной численности криля могут составить 3·10⁵ %, тогда как установленные систематические погрешности не превышают 3·10² %. Это может быть использовано, как основание для минимизации результирующей погрешности оценивания плотности популяции криля методом статистического усреднения.

3.3. Законы статистических распределений плотности популяции криля

Хотя отсутствуют обстоятельные исследования законов статистических распределений плотности популяции криля в ареале его обитания, но статистические параметры его концентраций в море Содружества (Самышев, 1991) свидетельствуют, что около половины средних удельных биомасс сопровождаются стандартными отклонениями, превышающими 33% средних значений. На этом основании (Закс, 1976) можно предположить логарифмически нормальные статистические распределения плотности популяции криля в обследованном районе, которые, при наличии нулевых уловов, описываются дельта распределениями Эйтчисона (Aitchison, Brown, 1969; De la Mare, 1994).

Функция плотности вероятности дельта распределения Эйтчисона имеет вид:

$$f(x) = (1-p)I_0[x] + p \frac{1}{x\sigma \ln \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu_{\ln})^2}{2\sigma^2}\right) I_{(0,\infty)}[x], \quad (1)$$

где $p = m/N$, m – количество определений плотности популяции криля, для которых $x = 0$, т. е. количество определений с нулевыми значениями; N – общее количество определений плотности популяции криля;

$I_0[x]$ – признак функции, который принимает значение 1 когда $x = 0$ и значение 0 когда $x > 0$;

$I_{(0,\infty)}[x]$ – второй признак функции, который принимает значение 0 когда $x = 0$ и значение 1 когда $x > 0$;

μ_{ln} и σ_{ln}^2 – соответственно, среднее значение и дисперсия логарифмически нормального распределения плотности популяции криля для которых $x > 0$.

Процедура расчёта μ_{ln} и σ_{ln}^2 имеет свои особенности. Прежде всего, необходимо результаты фактически определённых значений плотности популяции криля x_i трансформировать в логарифмированные их значения lnx_i , а затем вычислить статистические параметры μ_{ln} , σ_{ln} . Пересчёт статистик трансформированных выборок μ_{ln} , σ_{ln} в несмещённые статистики исходных выборок μ и σ осуществляется по формулам Эйтчисона в модифицированном изложении де ла Мара (De la Mare, 1994) удобном при расчётах:

$$\mu = \frac{m}{N} \cdot e^{\mu_{ln}} \cdot G_m\left(\frac{1}{2} \cdot \sigma_{ln}^2\right); \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \frac{m}{N} \cdot e^{2\mu_{ln}} \cdot \left[G_m(2\sigma_{ln}^2) - \frac{m-1}{N-1} \cdot G_m\left(\frac{m-2}{m-1} \cdot \sigma_{ln}^2\right) \right]; \quad (3)$$

$$G_m(t) = 1 + \frac{m-1}{m} t + \sum_{r=2}^{\infty} \frac{(m-1)^{2r-1}}{m^r (m+1)(m+3)\dots(m+2r-3)} \cdot \frac{t^r}{r!}. \quad (4)$$

r – признак, который при расчёте $\sum_{r=2}^{\infty}$ последовательно принимает значения 2, 3, 4,

после чего значения $\sum_{r=2}^{\infty}$ изменяются незначительно, в связи с чем дальнейшее увеличение значений r нецелесообразно.

При расчёте μ функция $G_m\left(\frac{1}{2} \cdot \sigma_{ln}^2\right)$ принимает вид подобный $G_m(t)$ путём замены (t) на $\left(\frac{1}{2} \sigma_{ln}^2\right)$; при расчёте σ^2 аналогичным образом определяются функции $G_m(2 \cdot \sigma_{ln}^2)$ и $G_m\left(\frac{m-2}{m-1} \cdot \sigma_{ln}^2\right)$.

Расчёт доверительных интервалов $\pm \Delta \mu_{ln}$ выполняется согласно выражений (De la Mare, 1994):

$$\begin{aligned} & \left| p = \frac{m}{N} \right. \\ \Delta \mu_{ln} = [lnL(x; p, \mu_{ln}, \sigma_{ln}^2) & \left. \begin{aligned} & \left| \mu_{ln} = \frac{1}{m} \sum_{x_i > 0} ln x_i \right| - \\ & \left| \sigma_{ln}^2 = \frac{1}{m} \sum_{x_i > 0} (ln x_i - \mu_{ln})^2 \right. \\ & \left. \left| 0 < p \leq 1 \right. \right. \end{aligned} \right. \\ - sup[lnL(x; p, \mu_{ln}, \sigma_{ln}^2) & \left. \left. \left| \mu_{ln} = \ln \left(\frac{\mu}{p G_m\left(\frac{1}{2} \sigma_{ln}^2\right)} \right) \right| - \frac{1}{2} \chi_{1,\alpha}^2, \right. \end{aligned} \quad (5)$$

$$| 0 < \sigma_{\ln}^2 < \infty$$

где $\chi^2_{1,\gamma}$ – значение критерия К.Пирсона при одной степени свободы и доверительной вероятности γ ;

$$\ln L(x; p, \mu_{\ln}, \sigma_{\ln}^2) = (N - m) \ln(1 - p) + m \ln p - \frac{m}{2} \ln \sigma_{\ln}^2 - \frac{1}{2\sigma_{\ln}^2} \sum_{x>0} (\ln x_i - \mu_{\ln})^2 - \sum_{x>0} \ln x_i - \frac{m}{2} \ln 2\pi \quad (6)$$

3.4. Расчёт численности (биомассы) криля в ареале его обитания

Расчёт численности (биомассы) криля выполняется по формуле:

$$H_{\gamma} \pm \Delta H_{\gamma} = \sum_{i=1}^k (\mu_{i\gamma} \pm \Delta \mu_{i\gamma}) (S_{i\gamma} \pm \Delta S_{i\gamma}) (h_{i\gamma} \pm \Delta h_{i\gamma}) \quad (8)$$

где H_{γ} – численность (количество экземпляров) или биомасса (т) криля в ареале его обитания при погрешности оценивания ΔH_{γ} ;

$\mu_{i\gamma}$ – средняя удельная численность (экз./м³) или средняя удельная биомасса (г/м³) криля при погрешности их оценивания $\Delta \mu_{i\gamma}$ в районе i равновероятной плотности популяции;

k – количество районов;

$S_{i\gamma}$ – площадь района i при погрешности её оценивания $\Delta S_{i\gamma}$;

$h_{i\gamma}$ – толщина слоя обитания криля в районе i при погрешности её оценивания $\Delta h_{i\gamma}$.

3.5. Вероятностно-статистическое определение границ районов равновероятной плотности популяции криля

Вероятности уловов криля могут быть вычислены посредством интеграла вероятностей дельта распределения плотности популяции криля. Для этого обследованная акватория делится на элементарные площадки, например, на трапеции со сторонами 20'. После этого все уловы за период исследований в каждом квадрате условно относятся к центрам квадратов; из них формируются временные ряды, устанавливаются законы статистических распределений уловов во времени по квадратам и вычисляются параметры этих распределений. Используя среднее значение и стандартное отклонение уловов, посредством интеграла вероятностей вычисляются вероятности обнаружения определённых значений плотности популяции криля; строятся картограммы-изоплеты вероятностей обнаружения определённых значений плотности популяции; выделяются районы равновероятных значений плотности популяции криля.

3.6. Методологические требования к технологии оценивания плотности популяции криля: сети отбора проб по акватории; режиму и средствам отбора проб; математическим методам обработки результатов наблюдений

Методологическая новизна предложенного подхода предусматривает новые процедуры для каждого из этапов традиционных наблюдений криля: планирования сети и режима отбора проб, выполнения наблюдений и обработки результатов проведённых наблюдений.

Планирование учётной съёмки включает районирование обследуемой акватории и составление схемы пунктов наблюдений. Районирование может выполняться субъективно, основываясь на мнении экспертов, и объективно, методами математической статистики по материалам предыдущих экспедиционных исследований с выделением районов равновероятной плотности популяции криля.

Исходными положениями при планировании режима и сети оценивания запасов криля должны служить требования к достоверности и допустимой погрешности оценок его плотности популяции. Учитывая, что оценки плотности популяции криля являются базовыми при

прогнозировании биологической продуктивности региона, их достоверность не должна быть ниже 0,99. Допустимая погрешность оценивания плотности популяции не должна превышать с заданной достоверностью (0,99) границы, за которыми следуют нежелательные эффекты.

После определения уровня ответственности и допустимой погрешности оценивания, рассчитывается необходимое количество наблюдений и устанавливается режим наблюдений с учётом жизненных циклов криля. Выполнение наблюдений предусматривает адекватное отражение в результатах наблюдений фактических законов статистических распределений плотности популяции криля, а также соответствие действительных метрологических характеристик средств оценивания плотности популяции криля их нормативным характеристикам.

Обработка результатов наблюдений включает: исследование законов статистических распределений плотности популяции криля в районах его равновероятных концентраций, вычисление параметров её статистических распределений в каждом районе, определение доверительных интервалов оценок удельной численности (биомассы) криля.

3.7. Ожидаемые результаты от внедрения предложенной методологии

В результате реализации предложенной методологии на основе материалов многолетних наблюдений за распределением плотности популяции криля, накопленных странами-членами АНТКОМ (CCAMLR), ожидается получить:

- 1 картограммы вероятностей обнаружения удельных биомассы криля более 0,01 г/м³, 0,05 г/м³, 0,1 г/м³, 0,5 г/м³, 1 г/м³, 5 г/м³, 10 г/м³, 20 г/м³, 30 г/м³, 50 г/м³ для антарктических морей и секторов Южного океана;

- истограммы плотности популяции криля по районам его равновероятных концентраций;

- таблицы параметров статистических распределений плотности популяции криля по районам его равновероятных концентраций;

- таблицы запасов криля по районам равновероятных концентраций;

- таблицы ориентировочного числа количественных определений удельной численности (биомассы) криля по районам равновероятных концентраций для достижения 99% - ной достоверности оценки его запаса.

4. Выводы

Основа методологии вероятностно-статистического оценивания запасов криля является гидробиоценологическая обусловленность районов его равновероятных концентраций.

Ввиду отсутствия измерительных эталонов плотности популяции криля в естественной среде принципиально невозможно провести структурирование систематических и случайных погрешностей её оценивания и определить их вклад в конечную оценку запасов криля. Корректная оценка удельной численности (биомассы) криля возможна на основе специальных принципов метрологии его концентраций.

Для обеспечения методологического единства традиционные представления о системе наблюдений криля должны быть дополнены законами и параметрами статистических распределений плотности популяции криля, информацией об источниках ошибок средств и методов оценивания плотности популяции криля, стандартизованными методиками оценивания параметров статистических распределений плотности популяции криля и минимизации погрешностей оценивания.

Достоверное оценивание запасов криля требует совершенствования технических средств и систем наблюдения концентраций криля.

Корректное оценивание запасов криля обеспечивается вероятностным методом площадей, требующим знания законов статистических распределений плотности популяции криля и естественных границ районов её равновероятных значений.

Литература

- Антарктический** криль: Справочник / Под ред. В.М. Быковой. – М.: Изд-во ВНИРО, 2001. – 207 с.
- Закс Л.** Статистическое оценивание // М.: Статистика. – 1976. – 598 с.
- Ковальчук Л.А.** Теоретические и экспериментальные основы оценок запасов гидробионтов: вероятностный подход // Наук. праці УкрНДГМІ. - 2001. - Вип.249. - С.256-277.
- Макаров Р.Р.,** Меньшина Л.Л., Латогурский В.И. Промысел антарктического криля (*Euphausia superba Dana*) и проблемы рационального использования его ресурсов // М.: Наука, Антарктика, 1993, вып.32, с.111–124.
- Масленников В.В.** Дифференциация вод Антарктики с учётом их воздействия на распределение некоторых видов планктона и рыб // М.: Наука, Антарктика, 1995, вып.33, с.43–54.
- Методические** рекомендации по оптимизации съёмки запасов на больших акваториях / Э.И.Кизнер. –М.: ВНИРО. - 1989. - 13 с.
- Новицкий П.В.,** Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений // Л.: Энергоатомиздат. – 1985. – 248 с.
- Парфенович С.С.** Некоторые особенности пространственного размещения скоплений антарктического криля // Океанология. 1982. Т.22, вып.3, с.480 – 484.
- Руководство** по проведению гидроакустических съёмок // М. ВНИРО. – 1984. – 123 с.
- Самишев Е.З.** Антарктичний криль. // Бюл. Укр. антракт. центр. - 1997. - Вип.1. - С.137-138.
- Самышев Э.З.** Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале // М.: Наука, 1991. 168 с.
- Самышев Э.З.** Заключение о состоянии популяции криля и пелагической экосистемы в западном регионе атлантической части Антарктики в предзимний период 1998 года. // Бюл. Укр. антаркт. центр. - 2000. - Вип.3. - С.231-236
- Самышев Э.З.,** Соколов Б.Г., Василенко В.И. Биомасса и запасы криля в районах атлантической части Антарктики в 1998 году. // Бюл. Укр. антаркт. центр. - 2000. - Вип.3. - С. 226-230.
- Aitchison J.,** Brown J.A.C. The lognormal Distributin. – Cambridge Univ. Press, 1969. - 176p.
- Brierley A.S.,** Goss C., Watkins J.L., Woodroffe P. Variations in echosounder calibration with temperature, and some possible implications for acoustic surveys of krill biomass // CCAMLR Science. - 1998. - V. 5. - С.273 – 281.
- De la Mare W.K.** Estimating confidence intervals for fish stock abundance estimates from trawl surveys // CCAMLR Science. – 1994. – V. 1.– P. 203–207.
- Kovalchuk L.A.,** Bryantseva Yu.V. A Method for Determining the Validity of Assessment of Abundance and Biomass of Phytoplankton Communities in the Black Sea // Hydrobiological Journal, - 2001. - V.37. - № 1. - P.53 – 59.
- Kovalchuk L.A.,** Litvinenko N.M. Statistical Analysis of Reliability and Accuracy in Evaluation of Mussel (*Mytilus galloprovincialis L.*) Population Numbers // Hydrobiological Journal, - 2001. - V.37. - № 2. - P.80 – 87.
- Nicol S.,** Constabl A.J., Pauly T. Estimates of circumpolar abundance of antarctic krill based on recent acoustic density measurements // CCAMLR Science. - 2000. - V. 7. - С.87 - 99.