

Л.А.Ковальчук

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ГИДРОБИОНТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЕТЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ КАК ВОПРОС БИОМЕТРИИ

Разработана методология корректной оценки запасов гидробионтов на пресноводных и морских акваториях. Показана несостоятельность традиционных упрощающих посылок оценок мгновенных запасов гидробионтов. Обоснована целесообразность оценок запасов осреднённых во времени и пространстве.

Состояние проблемы

Оценка запасов гидробионтов не регламентирована стандартами и выполняется в соответствии с руководствами, методическими рекомендациями и указаниями [9, 11]. Это позволяет решать промысловый аспект проблемы. В частности, на промысловых участках методами траловых или акустических съёмов биомасса рыб или криля оценивается с относительной погрешностью, достигающей 60%. Значительно ниже достоверность оценок запасов фитопланктона, зоопланктона и бентоса. Очевидно, что оценки запасов с указанной точностью практически невозможно использовать для определения вклада природного и антропогенного факторов в изменения экосистем.

В течение предыдущих десяти лет проблема оценивания запасов систематически изучалась на примере черноморских гидробионтов: фитопланктона, гребневика мнемипсиса (*Mnemiopsis sp.*), анчоуса (*Engraulis Encrasicolus Ponticus*), мидий (*Mytilus galloprovincialis L.*) [2–5], а также фитопланктона Киевского водохранилища [6]. В результате проведённых исследований, был предложен вероятно модифицированный метод оценки запасов гидробионтов, суть которого заключается в том, что вместо принципа равновеликих уловов при расчётах средних концентраций используется принцип равновероятных уловов. Для его реализации была разработана методика выделения границ статистически однородных районов равновероятных концентраций гидробионтов.

Наук. праці УкрНДГМІ. –2002. –Вип.250

В проблеме оценки запасов гидробионтов аспект наблюдений традиционно не вызывал сомнения и дискуссия касалась только метода расчёта запаса. Однако в результате последовательного изучения средств и методов измерений удельных концентраций гидробионтов было обнаружено, что традиционные методы не предусматривают анализ источников случайных и систематических погрешностей средств и методов измерений, их вклада в результирующую погрешность оценок численности [7]. Кроме этого, было выявлено важное метрологическое свойство гидробионтов: случайная составляющая результирующей погрешности оценок численности гидробионтов, как правило, не менее чем вдвое превосходит систематическую составляющую. На этом основании была сформулирована гипотеза о том, что такое превышение является следствием статистической структуры пространственных распределений гидробионтов. Таким образом, был открыт путь к минимизации погрешностей оценок численности гидробионтов методом статистического усреднения [7].

Для верификации и дальнейшего совершенствования предложенного подхода внимание было перенесено на оценивание запасов криля (*Euphausia superba* Dana). Ареал его обитания опоясывает Антарктиду, охватывая акватории 12 антарктических морей, а также южные части Атлантического, Индийского и Тихого океанов, что составляет около 20 млн км². Исследования запасов криля, ключевого звена пищевых цепей антарктических экосистем, последние два десятилетия проводились под эгидой Научного комитета Международной комиссии по сохранению морских живых ресурсов Антарктики – АНТКОМ (CCAMLR). Однако интернациональные усилия учёных Австралии, Англии, Аргентины, Германии, Новой Зеландии, России, США, Украины и Японии пока не дали приемлемых результатов. Опубликованные оценки запасов криля в ареале его обитания, выполненные традиционными методами, колеблются от 50 млн т до 25 млрд. т. и не сопровождаются объективными критериями достоверности.

Итак, главная причина неудовлетворительных оценок запасов гидробионтов вытекает из анализа традиционных подходов и заключается в отсутствии методологии, которая позволяла бы формулировать требования к точности инструментов измерения удельных концентраций гидробионтов, а также к достоверности методов наблюдений и оценки численности гидробионтов. Путь к разработке методологии открывается,

если проблему оценки запасов гидробионтов рассматривать как вопрос биометрии.

Цель настоящего исследования – обосновать методологию оценки запасов гидробионтов по результатам наблюдений, основанную на фундаментальных положениях биометрии: гидробиоценологических закономерностях функционирования водоёмов, законах статистических распределений гидробионтов, соответствии выборочных статистических параметров гидробионтов параметрам их однородных пространственных распределений.

Методология предусматривает решение следующих задач:

- обоснование гидробиоценологической обусловленности районов статистически однородных распределений гидробионтов;
- изучение законов статистических распределений гидробионтов;
- выделение районов статистически однородных распределений гидробионтов;
- определение пороговых значений достоверности оценивания запасов гидробионтов;
- анализ погрешностей средств измерений удельных концентраций гидробионтов, погрешностей методов наблюдений и погрешностей оценок запасов гидробионтов;
- минимизацию погрешностей оценивания запасов гидробионтов.

Материал и методика исследований

Исходным материалом для исследований послужили опубликованные оценки запасов гидробионтов [2–5], материалы по океанографическим основам функционирования экосистем антарктических морей [8] и структурно-функциональным характеристикам криля [1, 12], рекомендации и руководства по проведению траловых и гидроакустических съёмок [9, 11].

Методическая суть исследований заключается в следующем. На примере традиционных методик оценивания запасов гидробионтов проведён анализ исходных упрощающих посылок на соответствие их гидробиоценологическим закономерностям функционирования водных объектов и аксиомам математической статистики. Выполнен анализ алгоритмов и процедур обработки результатов наблюдений гидробионтов – на соответствие стандартам по производству измерений, для выявления противоречий и поиска путей их устранения. Это осуществлено

посредством правил математической статистики, метрологии и биометрии [10].

Результаты исследований

Исходные упрощающие посылки. Отсутствие корректных оценок запасов гидробионтов связано с тем, что на современном этапе ещё не предложены методы прямого учёта запасов гидробионтов. Акустические, траловые, планктонно-сетевые и дночерпательные съёмки обеспечивают только прямое измерение удельной концентрации, значения которой затем пересчитываются в запас гидробионтов. По существу проблема является междисциплинарной: комплекс технических наук обеспечивает разработку орудий и средств учёта гидробионтов; комплекс биологических наук изучает ареалы обитания, пространственно-временное распределение, физиологические законы развития, жизненные циклы, межвидовые взаимоотношения гидробионтов; специальные разделы математической статистики используются для обработки результатов наблюдений и оценки их достоверности. Но даже при столь существенной специализации сложность проблемы вынуждает исследователей прибегать к упрощающим гипотезам. При этом прослеживается два подхода.

Первый – характерен для исследований в пресноводных водохранилищах. Их ограниченная протяжённость и удовлетворительная изученность видового разнообразия гидробионтов позволяют выделять районы с преобладающими видами, что склоняет гидробиологов к расчётам средних арифметических концентраций. Путем перемножения средней концентрации гидробионтов на площадь их распространения определяют запасы. Попытки определить доверительные интервалы таких запасов приводят порой к парадоксам, когда нижняя граница доверительного интервала средней концентрации оказывается в отрицательной области. Объясняется это агрегированностью гидробионтов, на чём основана исчерпывающая критика такого подхода в гидробиологической литературе.

Второй подход к упрощениям исповедуется преимущественно представителями технических и математических наук при разработке методик учёта гидробионтов на морских и океанических акваториях. В частности, исходя из идеи случайных возмущений плотности скоплений

гидробионтов, и предполагая “мгновенность” учётной съёмки на большой акватории, они предлагают “в первом приближении рассматривать плотность скоплений (ρ) как стационарное однородное случайное поле (другими словами Гауссовская гипотеза, прим. авт.) и рассчитывать биомассу (B) в обследуемом районе простейшим способом: $B=\rho S$, где S - площадь района, а ρ - средняя поверхностная плотность скоплений в нём” [9]. Таким образом, общей исходной посылкой при оценке запасов гидробионтов традиционно является предположение о Гауссовском законе распределения гидробионтов. В одних случаях это сформулировано явно [9], в других – это следует из алгоритмов обработки результатов наблюдений [11].

Предположения о Гауссовском распределении гидробионтов и “мгновенности” учётной съёмки обусловлены с одной стороны, требованиями, предъявляемыми к используемым материалам при статистическом анализе, с другой – очевидной, не только пространственной, но и временной изменчивостью гидробионтов за период съёмки, которая может продолжаться от нескольких часов до нескольких недель. Например, концентрации фитопланктона изменяются вследствие как размножения, так и механического перераспределения их вихрями. Изменения концентраций рыб обусловлены преимущественно их активными кормовыми перемещениями и, соответственно, трансформациями кормовых полей. Выделить временную и пространственную составляющие этих изменений и ввести временную поправку в результаты измерений, т.е. привести их к единому моменту времени, практически невозможно, также как невозможно выделить случайную и систематическую составляющие изменений гидробионтов за период съёмки. Следовательно, говорить только о случайности возмущений плотности скоплений гидробионтов и предполагать “мгновенность” учётной съёмки на большой акватории – ошибочно.

Наш подход к преодолению отмеченных противоречий заключается в следующем. Разделяя точку зрения большинства гидробиологов о том, что невозможно точно измерить удельную концентрацию гидробионтов, мы предлагаем оценивать не мгновенный запас гидробионтов, а средний запас за определённый промежуток времени на определённой акватории. Основа для этого – превышение, как минимум двойное, случайной составляющей над систематической составляющей результирующей погрешности оценки запасов гидробионтов. В подтверждение сказанного

рассмотрим схему формирования системой наблюдений результирующей погрешности оценки запасов с учётом погрешностей средств измерений, методов наблюдений и пороговой достоверности оценивания запасов гидробионтов.

Пороговые значения достоверности оценивания запасов гидробионтов. Мерой достоверности оценок выборочных биометрических показателей служит вероятность безошибочного их оценивания [10]. Установлено четыре её порога: нулевой – 0,90, первый – 0,95, второй – 0,99, третий – 0,999. Нулевой порог рекомендуется при выполнении работ пониженной ответственности, связанных с ознакомлением и поисковыми исследованиями неизвестных биологических явлений. Первый порог соответствует общепринятой ответственности в большинстве биологических исследований. Второй – задан для работ повышенной ответственности, связанных с угрозами для здоровья людей или предполагающих значительные экономические ущербы. Третий порог установлен для работ, связанных с угрозами для жизни людей, а также при решении спорных теоретических вопросов. Учитывая, что оценки выборочных биометрических показателей гидробионтов (удельной численности, удельной биомассы) являются базовыми при определении и прогнозировании биологической продуктивности водоёмов, очевидно, что оценивание выборочных биометрических показателей гидробионтов относится ко второму уровню ответственности с вероятностью безошибочного оценивания 0,99.

Дополнения к традиционным представлениям о системе наблюдений гидробионтов. Для обеспечения методологического единства традиционные представления о системе наблюдений гидробионтов должны быть дополнены:

- а) информацией об источниках ошибок инструментов измерений удельных концентраций гидробионтов;
- б) информацией о погрешностях методов наблюдений гидробионтов, обусловленных пространственно-временным режимом отбора проб и диффузностью гидробионтов;
- в) стандартными методами оценки биометрических показателей запасов и методикой минимизации погрешностей наблюдений в результате отбора и обработки проб.

Погрешности средств измерений концентраций гидробионтов. Для отбора проб фитопланктона и зоопланктона используются батометры и планктонные сети. Отобранные пробы консервируются с потерей гидробионтов около 25-30%; доставляются в лабораторию и концентрируются, в процессе чего потери могут достигать 25-30%. Из концентрированной пробы отбираются микропробы и анализируются под микроскопом. Погрешность подсчёта удельной численности (экз./л) гидробионтов составляет около $\pm 20\%$. Различия в оценках численности двух последовательных проб из места отбора могут достигать $\pm 100-200\%$. Строго выделить *случайную и систематическую составляющие* при измерении удельной численности фитопланктона или зоопланктона по описанной технологии практически невозможно.

Отбор проб макрозоопланктона, ихтиопланктона, рыб осуществляется посредством тралов. *Случайная составляющая погрешности улова трала*, зависящая от условий траления, прежде всего от волнения, составляет $\pm 20-30\%$ [11]. Расчёт удельной численности (экз./л, экз./м³) гидробионтов осуществляется с учётом коэффициента уловистости трала путём деления выловленного количества гидробионтов на объём процеженной воды. Однако не определяется погрешность оценки удельной численности по результатам каждого траления. Обусловлено это тем, что за время траления происходит суммирование гидробионтов, но при этом отсутствует информация о дисперсии обловленных агрегаций гидробионтов. Как следствие: в гидробиологической практике широко распространено использование оценок удельной численности гидробионтов без указания их доверительных интервалов.

Для оценки поверхностной плотности (т/миля²) гидробионтов используются акустические системы: эхолот и эхоинтегратор. Погрешность оценки поверхностной плотности может достигать $\pm 60\%$ [11, стр.111]. *Случайная составляющая погрешности измерений акустической системы*, обусловленная волнением, термодинамической структурой вод, наличием звукорассеивающих слоёв, может достигать $\pm 50\%$ [11, стр.103]. Если объект уверенно регистрируется гидроакустическим прибором, когда случайная составляющая погрешности измерения акустической системы минимальна, то точность определения плотности скопления зависит главным образом от *систематической составляющей*, т.е. от погрешности цены деления

шкалы интегратора, которая может находиться в пределах $\pm 50\%$ [11, стр.103]. Различия температуры воды в районе калибровки ($16,6^{\circ}\text{C}$) и районе съёмки ($2,3^{\circ}\text{C}$) приводят к недооценке биомассы, например криля, на 52% [15]. Акустические системы практически не регистрируют фоновые рассредоточенные скопления криля менее 1 т/миля^2 [14], а также концентрации криля в поверхностном слое выше глубины 8–10 метров, что обусловлено осадкой судна и расположением гидроакустической антенны [11, стр.27].

Систематическая составляющая погрешности средств измерений, согласно государственным стандартам, устанавливается аттестацией по образцовым мерам, что практически неосуществимо для *планктонных сетей, тралов и акустических систем* при измерении концентраций гидробионтов в естественных условиях. Проведение сквозной градуировки или интерградуировки [11, стр. 79, 82] в какой-то мере лишь минимизирует относительную систематическую составляющую погрешности акустической системы.

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 суммарные за серию импульсов значения плотности скопления. Интервал интегрирования, по прошествии которого снимаются показания интегратора, обычно принимают от одной до нескольких миль [11]. После градуировки шкалы интегратора значения поверхностной плотности скопления получают в т/миля^2 , которые затем пересчитываются в г/м^2 . И хотя на протяжении интервала интегрирования могут быть проинтегрированы эхосигналы от скоплений различной плотности, вычисленное значение поверхностной плотности в г/м^2 , которое по сути является усреднённой характеристикой, не сопровождается стандартным отклонением. Известно, что усреднённые величины любого статистического распределения, приобретают свойства Гауссовского распределения. Таким образом, эхоинтегратор преобразовывает законы статистических распределений гидробионтов в Гауссовские и, следовательно, полученные статистические параметры являются смещёнными, а оценки запасов гидробионтов недостоверными.

Проведённый анализ свидетельствует, что разделить *случайную составляющую* и *систематическую составляющую* погрешности

измерений удельных концентраций гидробионтов, вносимой *средствами измерений*, практически невозможно.

Погрешности методов наблюдений концентраций гидробионтов. Отбор проб гидробионтов для оценки их численности осуществляется методами планктонно-сетевых, траловых, дночерпательных съёмок. *Относительная погрешность* оценки численности гидробионтов методом съёмок составляет $\pm 30\text{-}40\%$. Относительная погрешность оценки биомассы гидробионтов, осуществляемой методом акустических съёмок, может достигать $\pm 60\%$, но при регулярном проведении съёмок в традиционных промысловых районах погрешность оценки биомассы уменьшается и обычно лежит в пределах $\pm 40\%$ [11]. *Случайная составляющая метода наблюдения*, не связанная с измерительными средствами, складывается из ошибок определения местоположения плавсредства относительно облавливаемых скоплений и ошибок из-за влияния погодных условий на процесс облова. Вклад *случайной составляющей метода наблюдения* в интегральную оценку запасов гидробионтов не изучен. *Систематическая составляющая погрешности метода наблюдения*, не связанная с измерительными средствами, зависит: от соблюдения сроков и продолжительности учётной съёмки, нарушение которых может повлечь биологически значимые изменения в состоянии гидробионтов; от соблюдения границ районов статистически однородных распределений гидробионтов, не учёт которых может привести к смещённым оценкам, а также от соблюдения границ ареала обитания гидробионтов, когда их нарушение может привести к неосознанному измерению численности гидробионтов соседнего гидробиоценоза. Вклад *систематической составляющей погрешности метода наблюдения* в интегральную оценку запасов гидробионтов не изучен.

Минимизация погрешности оценки запасов гидробионтов. Рассмотрим структуру результирующей погрешности оценки запасов гидробионтов с учётом минимизации погрешностей средств измерений и методов наблюдений концентраций гидробионтов. Известно, что *случайные неустранимые погрешности* любого рода минимизируются методами математической статистики. Погрешность измерения концентраций гидробионтов, вызванная *диффузностью* гидробионтов, является *случайной* по своей природе, как результат воздействия множества факторов, совместный эффект воздействия которых

непредсказуем, и может быть минимизирована методом статистического усреднения. *Систематические составляющие погрешности средств измерений* минимизируются посредством их технических характеристик, в частности коэффициентов уловистости, устанавливаемых экспериментально при сравнении результатов обловов различными средствами, хотя такие оценки нельзя считать абсолютными. *Систематические составляющие погрешности метода наблюдений* оцениваются только путём специальных исследований, что остаётся до настоящего времени насущной задачей гидробиологической метрологии (в соответствии со стандартами погрешность метода наблюдений указывается в паспорте метода).

Анализ структуры результирующей погрешности оценки запасов гидробионтов свидетельствует, что не существует проблемы минимизации случайных составляющих результирующей погрешности оценивания, но принципиально не решённой остаётся проблема оценки систематической составляющей погрешности метода наблюдений. Ввиду отсутствия прямого решения проблемы предложено косвенное её решение. Привлечено правило математической статистики, согласно которому минимизация погрешностей измерений методом статистического усреднения возможна, если случайная составляющая погрешности измерений дважды превосходит систематическую составляющую, что проверено на примере фитопланктона Чёрного моря [7]. Это использовано как основание для минимизации результирующей погрешности оценивания численности гидробионтов методом статистического усреднения.

Законы статистических распределений гидробионтов. Результаты статистического анализа долгосрочных наблюдений гидробионтов [7], позволяют сформулировать следующую гипотезу. Общей статистической закономерностью пространственного распределения гидробионтов в пределах ареала их обитания являются “смешанные” законы статистических распределений, когда кривая плотности распределения (распределения частот удельной численности) имеет всплески и смещённый центр распределения. В тоже время гидробиоценологические закономерности функционирования водных объектов формируют районы статистически однородных концентраций гидробионтов, характеризующихся “чистыми” законами статистических распределений,

например “куполообразными” логарифмически нормальными распределениями.

В руководствах по изучению гидробионтов досконально изучен вопрос о репрезентативности выборки гидробионтов относительно пробы [13, с.27–48]. Вместе с тем, остается открытым вопрос о репрезентативности выборки из пробы относительно генеральной совокупности гидробионтов, представленной их ареалом. Очевидно, что решить этот вопрос обычно применяемым приёмом – проверкой нулевой гипотезы – невозможно, т.к. не существует статистически однородной выборки гидробионтов для всего ареала обитания. Статистически однородные выборки возможны только в отдельных агрегациях или отдельных районах. Выборка гидробионтов может быть репрезентативна только в том случае, если она взята из района со статистически однородным распределением. Наличие таких районов обусловлено гидробиоценологическими закономерностями функционирования водных объектов, а отличительной характеристикой таких районов могут служить законы статистических распределений гидробионтов.

Гидробиоценологическая обусловленность районов статистически однородных распределений гидробионтов. На примере Киевского водохранилища, Чёрного моря, Южного океана рассмотрим вопрос гидробиоценологической обусловленности границ районов статистически однородных распределений гидробионтов.

Гидробиоценологическая особенность Киевского водохранилища состоит в том, что оно является головным в каскаде днепровских водохранилищ, вследствие чего различают три его части: верхнюю часть с преобладанием речных форм фитопланктона; основную часть с преобладанием озёрных форм фитопланктона и нижнюю часть с повышенной турбулентностью, где господствуют преимущественно мелкие формы фитопланктона. Следовательно, оценка запасов фитопланктона должна осуществляться отдельно по этим трём районам, что подтверждается результатами статистического анализа [6].

Гидробиоценологическая закономерность Чёрного моря заключается в следующем. Ввиду наличия сероводородной зоны, в Чёрном море существуют только те виды гидробионтов, удельный вес которых или удельный вес икры которых обеспечивает её нахождение в поверхностном аэрированном слое. В тоже время биологическая

продуктивность моря формируется в результате подъёма богатых биогенными элементами глубинных вод в западной и восточной халистазах, а также сезонного поступления биогенных веществ с речным стоком. Подъём глубинных вод в центральных районах моря способствует обогащению питательными солями поверхностного аэрированного слоя и интенсивному развитию здесь фитопланктона, а со временем и зоопланктона; циклоническая циркуляция способствует перераспределению планктона к прибрежной 20–30 мильной зоне; вихревая структура Основного черноморского течения обеспечивает вынос агрегаций гидробионтов в центральные районы моря. Описанный механизм вполне удовлетворительно объясняет стохастичность распределения пассивных гидробионтов – фитопланктона и зоопланктона – но он не достаточен для объяснения распределения теплолюбивого анчоуса, которое, кроме прочего, связано с его сезонными, физиологически обусловленными, миграциями: осенью – на зимовку в теплую юго-восточную часть моря, весной – на нерест в богатую кормом мелководную северо-западную часть. С гидробиоценологическими закономерностями Чёрного моря согласуются результаты статистического анализа материалов наблюдений анчоуса, гребневика мнемнопсиса, фитопланктона, позволившие выделить глубоководный, переходный, прибрежный и северо-западный районы статистически однородных распределений гидробионтов [2–5]. В северо-западной части Чёрного моря существование и развитие донных биоценозов в значительной мере зависит от заморных явлений.

Гидробиоценологические закономерности Южного океана, применительно к оценке запасов криля, включают гидродинамические предпосылки обитания, питания, размножения и созревания криля. Гидродинамические предпосылки обитания криля создаются восточным Антарктическим циркумполярным течением, западным прибрежным Антарктическим течением, подводными хребтами и островами Субантарктики, орографией антарктических морей и шельфа. Активному питанию криля, его эффективному нересту, метаморфизму и созреванию молоди в тёплый период года способствуют интенсивные продукционные процессы; подъём глубинных вод, богатых питательными солями, в зоне Антарктической дивергенции ($\approx 60\text{--}65^\circ$ ю.ш.); поступление талых вод, обогащённых биогенными элементами, на шельф; плотностная стратификация поверхностной водной массы, разделяющей прибрежные

и дивергентные воды. Южнее Антарктической дивергенции Западный перенос вод перераспределяет криль, а вихревые образования способствуют его агрегированию. Прибрежное поступление вод с востока в море Уэдделла обуславливает возникновение стокового течения вдоль восточного побережья Антарктического полуострова. Северо-восточная ветвь течения моря Уэдделла, достигая моря Скотия, сливается с Антарктическим циркумполярным течением. Здесь, южнее Антарктической конвергенции ($\approx 50-55^\circ$ ю.ш.), вдоль Вторичной фронтальной зоны смешения вод моря Уэдделла и Циркумполярного течения, в результате поступления криля с запада с водами Циркумполярного течения и приносимого с востока течением моря Уэдделла, создаются обширные агрегации криля за счёт гидродинамических эффектов Антильского хребта, Оркнейских и Сандвичевых островов. Этим объясняется северное расположение районов крилёвого промысла в Атлантическом секторе Южного океана. В индоокеанском и тихоокеанском секторах криль, переносимый Циркумполярным течением и вихрями, по-видимому, также может достигать зоны Антарктической конвергенции. Однако менее благоприятные репродуктивные условия здесь снижают его численность до фоновых значений, не фиксируемых гидроакустической аппаратурой.

Игнорирование гидробиоценологических закономерностей су-



Рис. 1. Районы вычисления средних удельных биомасс криля вокруг Антарктиды [14]

ществования и распространения криля при оценке его запасов привело к ряду противоречий [14]:

А) южная и северная границы районов, используемых при расчётах средних удельных биомасс криля (рис. 1), установлены по фактическим наблюдениям, которыми располагали исследователи [14]. В то же время, северная граница не согласуется с законами гидродинамики, а южная — опровергается данными [1],

согласно которых промысловые агрегации криля отмечались в прибрежной зоне (рис. 2);

Б) в качестве восточных и западных границ районов вычисления средних удельных биомасс криля приняты границы конвенциональных

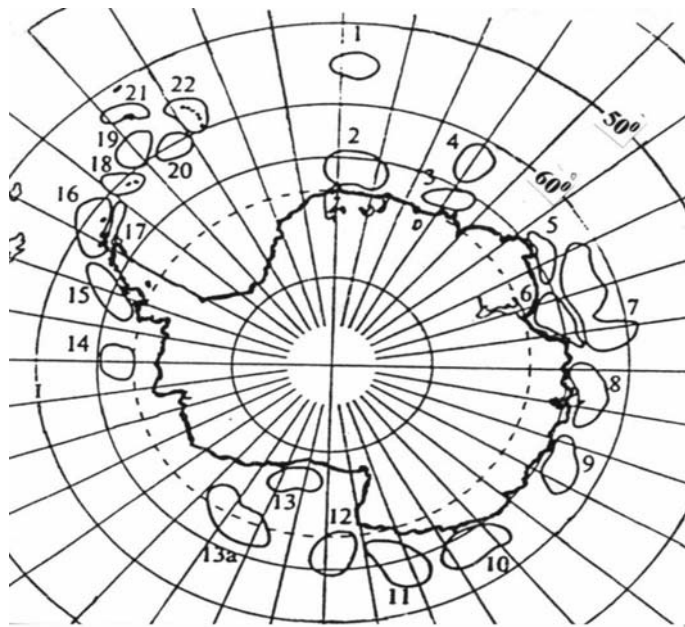


Рис. Районы обнаружения агрегаций криля в ареале его обитания [1]

районов промысловой статистики (см. рис. 1), но результаты фактических наблюдений и гидробиоценологические закономерности Южного океана позволяют выделить объективными методами районы статистически однородных равновероятных концентраций криля;

В) при расчётах запасов криля [14] на прибрежную и шельфовую зону были распространены значения удельной биомассы криля океанической зоны, тогда как

именно прибрежно-шельфовой зоне присущи наиболее благоприятные условия развития криля, способствующие образованию его промысловых агрегаций.

Методология оценки запасов гидробионтов по результатам наблюдений. Методологическая новизна нашего подхода затрагивает каждый из трёх этапов традиционной оценки запасов гидробионтов: планирование учётной съёмки, выполнение наблюдений и обработку результатов проведённых наблюдений.

Планирование учётной съёмки включает субъективное или объективное районирование обследуемой акватории, составление схемы пунктов наблюдений. Районирование обследуемой акватории может выполняться субъективно, основываясь на мнении экспертов, и объективными методами на основании материалов предыдущих экспедиционных исследований. Для объективного районирования обследуемая акватория разделяется на элементарные площади, например, для морской акватории – трапеции со сторонами 15' (в средних широтах

это близко к квадрату со сторонами около 15 миль). После этого все наблюдения за период исследований в каждом квадрате условно относятся к центрам квадратов. Из них формируются временные ряды, на основе которых устанавливаются законы статистических распределений гидробионтов во времени по квадратам и вычисляются параметры этих распределений. Используя два первых момента статистических распределений, посредством интеграла вероятностей вычисляются вероятности обнаружения гидробионтов определённой концентрации; строятся картограммы-изоплеты вероятностей обнаружения гидробионтов определённой концентрации; выделяются районы равновероятных концентраций гидробионтов. Для районов равновероятного обнаружения определённых концентраций гидробионтов устанавливаются законы статистических распределений гидробионтов. Установленные законы исследуются на предмет отсутствия признаков “смешанности”, а также смещённости центров статистических распределений. Схема расположения пунктов наблюдений составляется с учётом гидробиоценологических закономерностей функционирования водного объекта, но большее количество наблюдений сосредотачивается в районах повышенных концентраций. Это объясняется тем, что погрешность оценки запасов гидробионтов в районе высоких концентраций может оказаться больше чем запас гидробионтов в районе низких концентраций.

Выполнение наблюдений предполагает, что их результаты отражают законы статистических распределений гидробионтов. В этой связи при использовании тралов или гидроакустических систем с эхоинтегратором продолжительность траления или интервал интегрирования необходимо принимать эквивалентно расстоянию 0,1–0,2 мили. Ориентиром при этом может быть продолжительность траления научно-исследовательским тралом на циркуляции судна. Использование эхоинтегратора при большем интервале интегрирования требует его модернизации: показания поверхностной плотности гидробионтов должны сопровождаться информацией о дисперсии проинтегрированных агрегаций гидробионтов.

Обработка результатов наблюдений предусматривает: исследование законов статистических распределений гидробионтов в ранее выявленных районах равновероятных концентраций гидробионтов, вычисление параметров статистических распределений, вычисление запасов

гидробионтов в каждом районе, определение доверительных интервалов оценок запасов гидробионтов.

Выводы

1. Корректная оценка запасов гидробионтов возможна в рамках парадигм биометрии.

2. Разработанная методология рекомендуется для ревизии используемых в практической деятельности схем, методов и методик оценки запасов гидробионтов пресноводных водоёмов и Мирового Океана.

3. Достоверное оценивание запасов гидробионтов требует совершенствования гидроакустических измерительных систем: показания эхоинтегратора должны сопровождаться сведениями о дисперсии интегрируемых агрегаций гидробионтов.

* *

Розроблена методологія коректної оцінки запасів гідробіонтів на прісноводних і морських акваторіях. Установлено хибність традиційних спрощуючих посилок оцінок миттєвих запасів гідробіонтів. Обґрунтовано доцільність оцінок запасів усереднених в часі та просторі.

* *

1. Антарктический криль: Справочник / Под ред. В.М.Быковой. – М.: Изд-во ВНИРО, 2001. – 207 с.
2. Архипов А.Г., Ковальчук Л.А., Чащин А.К., Янкаускас В.Ю. Статистический анализ многолетних наблюдений распределения анчоуса *Engraulis encrasicolus ponticus* в Чёрном море // Вопросы ихтиологии. – 1992. – Т. 32. – №3. – С. 176–182.
3. Ковальчук Л.А., Брянцева Ю.В. Методика определения достоверности оценок численности и биомассы фитопланктонных сообществ Чёрного моря // Гидробиол. ж. – 1999. – Т. 35. – № 3. – С. 101–105.
4. Ковальчук Л.А., Чащин А.К., Гришин А.Н. Статистический анализ наблюдений распределения гребневика мнемнопсиса в Чёрном море: определение достоверности и точности оценок биомасс // Тр. ЮГНИРО, 1996. – Т. 42. – С. 172–176.
5. Ковальчук Л.А., Литвиненко Н.М. Статистический анализ достоверности и точности оценок численности популяций мидии

- (*Mytilus galloprovincialis* L.) // Гидробиол. ж. – 1999. – Т. 35. – № 4. – С. 107–112.
6. Ковальчук Л.А., Онанко Ю.И. Оценка достоверности многолетних наблюдений сообществ Киевского водохранилища // Наук. праці УкрНДГМІ. – 1999. – Вип. 247. – С. 217–226.
 7. Ковальчук Л.А. Теоретические и экспериментальные основы оценок запасов гидробионтов: вероятностный подход // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2001. – Вип. 249. – С. 256–277.
 8. Ланин В.И. Океанографические основы формирования, функционирования и межгодовой изменчивости состояния экосистем антарктических морей / Пелагические экосистемы Южного океана. – М.: Наука, 1993. – С. 63–80.
 9. Методические рекомендации по оптимизации съёмок запасов на больших акваториях / Э.И. Кизнер. – М.: ВНИРО. – 1989. – 13 с.
 10. Плохинский Н.А. Достаточная численность выборки / Биометрический анализ в биологии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. – С. 152–157.
 11. Руководство по проведению гидроакустических съёмок – М.: ВНИРО. – 1984. – 123 с.
 12. Самышев Э.З. Антарктический криль и структура планктонного сообщества в его ареале. – М.: Наука, 1991. – 168 с.
 13. Фёдоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 166 с.
 14. 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.
 15. 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.