

УДК 639.2.053.7:597–154.343.087

Использование данных мечения для повышения надежности результатов модельного анализа состояния запасов

Д. А. Васильев, В. К. Бабаян, Т. И. Булгакова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва)

e-mail: dvasilyev@vniro.ru

Рассмотрены аспекты включения результатов мечения в процедуру оценки запасов с использованием когортных моделей.

Ключевые слова: мечение, оценка состояния запасов.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время различным приемам работы с зашумленными данными, основанным на подходах робастной статистики, в рамках задач, решаемых с помощью моделей оценки состояния запасов, уделяется значительное внимание [Васильев, 2001; Vasilyev 2004, 2005, 2006; Vasilyev, Tjelmeland 2007]. В определенных случаях низкое качество традиционных видов дополнительной информации (уловов на усилие, результатов съёмов с возрастной структурой или без неё и т.д.) вызывает необходимость привлечения к оценкам иной информации. Одним из видов такой информации являются данные мечения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В простейшем случае, если рассматриваются результаты однократного мечения в гомогенной популяции, в которой отсутствуют миграции и пополнение между моментами мечения и поимки, а само мечение не изменяет биологических характеристик помеченных рыб, то несмещенная оценка численности запаса \hat{N}

на момент мечения может быть получена по формуле Петерсена [Seber, 1982], имеющей вид:

$$\hat{N} = \frac{(n_1 + 1)(n_2 + 1)}{m + 1} - 1,$$

где n_1 — число помеченных рыб; n_2 — количество рыб, проверенных на наличие метки; а m — число обнаруженных меток.

При более подробном рассмотрении в рамках когортных моделей, данные мечения могут быть источником ценной информации о промысловой и естественной смертности. Рассмотрим обобщенную модель Полачека [Polachek et al., 2006; Hillary, Agnew, 2006]. Предполагается, что для каждого поколения выполняются стандартные соотношения когортных моделей:

$$\begin{aligned} P_{y+1,a+1} &= P_{y,a} \exp(-F_{y,a} - M_{y,a}); \\ \hat{C}_{y,a} &= \frac{F_{y,a}}{M_{y,a} + F_{y,a}} P_{y,a} \left(1 - \exp(-F_{y,a} - M_{y,a})\right), \end{aligned}$$

где ρ , C , F и M представляют собой численность, уловы, мгновенные коэффициенты промысловой и естественной смертности для года y и возрастной группы a .

Для упрощения этих уравнений обозначим годовой коэффициент выживания для возрастной группы a через ψ_a , а коэффициент эксплуатации для данной возрастной группы — через ξ_a . Тогда получим:

$$\psi_a = \exp(-F_a - M_a);$$

$$\xi_a = \frac{F_a}{M_a + F_a} (1 - \psi_a).$$

Если коэффициент возврата меток для a равен λ_a , а N_a — количество помеченных рыб в возрасте a , то количество обнаруженных помеченных рыб R в возрастах $i \geq a$ составит:

$$R_{a,i} = N_a \lambda_i \xi_i \prod_{j=a}^{i-1} \psi_j,$$

а «теоретические» значения уловов по возрастным группам для данного поколения оцениваются по формуле:

$$\hat{C}_i = \rho_a \xi_i \prod_{j=a}^{i-1} \psi_j.$$

Предположим, что количество пойманных помеченных рыб для данного поколения имеет полиномиальное распределение. Тогда функция правдоподобия для R может быть записана в виде:

$$LR = \Phi \times \prod_a \left[\left(\prod_{i \geq a} \rho_{a,i}^{R_{a,i}} \right) \times \left(1 - \sum_{i \geq a} \rho_{a,i} \right)^{N_a - \sum_{i \geq a} R_{a,i}} \right],$$

где

$$\Phi = \prod_a \frac{N_a!}{\prod_{i \geq a} R_{a,i}! \left(N_a - \sum_{j < a} R_{a,j} \right)!},$$

а вероятность поимки помеченной особи $\rho_{a,i}$ может быть выражена как:

$$\rho_{a,i} = \xi_i \lambda_i \prod_{j=a}^{i-1} \psi_j.$$

Таким образом, имея оценки для «теоретических» значений возрастного состава уловов, выраженные через результаты мечения, и фактические данные по возрастному составу уловов, путём минимизации остатков модели можно сделать попытку оценить необходимые параметры, а именно: численность и промысловые смертности. При этом, как всегда, вопросом является то, какое распределение для остатков модели лучше использовать при минимизации. Так, например, в работе Полачека и др. [Polachek et al., 2006] используется нормальное распределение ошибок в данных по возрастному составу уловов. Это плохо вписывается в современное понимание того, что ошибки в данных и в описании их моделью могут иметь существенно более сложную природу, включая выбросы (аутлаеры).

Несколько более простым, хотя и сходным по общей идеологии, можно считать подход к включению в когортный анализ данных по мечению, реализованный, например, в модели АМСИ [Skagen, 2002]. В рамках этой модели на начальной стадии расчётов оценка пойманных меченых рыб (recaptures) рассчитывается с использованием модельных оценок смертности как ожидаемая пропорция каждой помеченной категории (год мечения и возраст) в общем количестве пойманных меченых рыб. Доля возвращенных меток данной категории (год мечения и возраст) в данном году связана с численностью только посредством смертности.

Обозначим количество помеченных рыб в возрасте $a1$ в году $y1$ как $R(y1, a1)$, а количество этих помеченных рыб, пойманных в году $y2$ как $r(a1, y1, y2)$. Количество меток категории $\{y1, a1\}$ «в море» снижается со временем по причине общей смертности, «накопленной» с момента мечения. Накопленную смертность между годами $y1$ и $y2$ для тех рыб, которые имели возраст $a1$ в году $y1$, обозначим как $Zc(y1, a1, y2)$. Тогда:

$$Zc(y1, a1, y2) = \sum_{i=0, y2-y1} Z(y1 + i, a1 + i).$$

Введём также коэффициент выживания при мечении $S(y1)$. Предположим, что мечение и поимка происходит в конце второго квартала

каждого года. Тогда накопленная смертность считается, начиная с 3-го квартала года мечения до 2-го квартала года поимки. Ожидаемое количество пойманных меченых рыб категории $\{y1, a1\}$ в году $y2$ составляет долю от рыб этой категории «в море», скорректированную на множитель $q(a)$, отражающий то, насколько меченая рыба в возрасте a подвержена промыслу, и скорректированное на общее количество меченых рыб $r_{tot}(y2)$, пойманных в году $y2$. Таким образом, моделируется количество вновь пойманных меченых рыб категории $\{y1, a1\}$:

$$\hat{r}(y1, a1, y2) = \frac{R(y1, a1) \cdot S(y1) \cdot e^{-Zc(y1, a1, y2)} \cdot q(a1 + y2 - y1)}{\sum_{i,j} R(yi, aj) \cdot S(yi) \cdot e^{-Zc(yi, aj, y2)} \cdot q(aj + y2 - yi)} \times r_{tot}(y2).$$

Значения R считаются входными данными, а модельное значение относительной представленности меток является функцией накопленной смертности. Коэффициент выживания при мечении S может рассматриваться в качестве неизвестного параметра модели. Коэффициент улавливаемости q соответствует селективности того флота, которым вылавливаются помеченные особи.

Отметим, что среди различных способов включения данных мечения в модели оценки состояния запасов с возрастной структурой [Бабаян, 1975; Андреев и др. 1978; Agnew et al., 2006; etc.] наиболее популярным является подход, в рамках которого моделируется именно число возвращённых меток, а параметры модели оцениваются путём максимизации функции правдоподобия, предполагающей биномиальное (или какое-либо более сложное) распределение [Skagen, 2002; Polacheck et al., 2006; Dunn, Hanchet, 2006; Hillary, Agnew, 2006; etc.]. Примером другого, так называемого «прямого» подхода согласно классификации, встречающейся, например, в работе [Hillary, Agnew, 2006], может служить исследование, выполненное нами в работе [Vasilyev et al., 2007].

В рамках использованного нами подхода данные по возврату меток были использованы для получения матрицы индекса численности

запаса (по годам и возрастным группам), который мог бы использоваться в модели в качестве дополнительного индекса численности запаса с возрастной структурой. Этот индекс конструировался на основе предположения, что отношение количества помеченных рыб в возрасте a в году y ($T_{a,y}$) к их количеству, выловленному в году $y+k$ в возрасте $a+k$ ($TR_{a+k,y+k}$), пропорционально (но не обязательно равно из-за, например, более высокой естественной смертности меченых рыб и множества других факторов) отношению численности возрастной группы a в запасе в году y к улову $C_{a+k,y+k}$, взятому из возрастной группы $a+k$ в году $y+k$. Таким образом, индекс численности $I_{a,y}$, составленный из данных по возврату меток, равен:

$$I_{a,y} = \frac{C_{a+k,y+k} T_{a,y}}{TR_{a+k,y+k}}.$$

Поскольку рыбы из помеченной группы $T_{a,y}$ могут быть пойманы в различные годы (в соответствующем возрасте), для одной и той же величины $I_{a,y}$ может быть несколько оценок. В этом случае мы используем медианную величину:

$$I_{a,y} = \text{median}_{\text{over } k} \frac{C_{a+k,y+k} T_{a,y}}{TR_{a+k,y+k}}.$$

Описанный выше подход позволяет изъять из прямого рассмотрения связанные с мечением изменения в естественной смертности, а также возможные изменения в доступности для промысла меченых рыб, но и учесть эти изменения в неявной форме путём внутримодельной оценки зависящих от возраста коэффициентов улавливаемости для сконструированных описанным выше способом индексов численности по данным мечения. В качестве минимизируемой меры близости описания моделью индексов численности, сконструированных по результатам возврата меток, мы используем медианную меру (абсолютное медианное отклонение между логарифмами модельной оценки численности и индексами), что в значительной степени снимает вопрос о виде статистического распределения ошибок в данных по возврату меток.

Выводы

Данные мечения являются весьма ценной информацией, особенно в ситуациях слабо облавливаемых запасов. Использование данных мечения для оценки величины запасов сопряжено с рядом неопределённостей в модельном описании процессов мечения и поимки, однако в значительной степени эти неопределенности можно «вывести за скобки» анализа при использовании данных мечения наряду с другой доступной информацией в рамках интегральных моделей с возрастной структурой.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабаян В.К. 1975. Оценка численности популяций рыб с помощью мечения. М.: Изд-во ЦНИИТЭИРХ. Сер. 1. Вып. 2. 42 с.
- Андреев В.Л., Булгакова Т.И., Челноков Ф.Г. 1978. Метод оценки некоторых параметров популяции морских котиков по материалам мечения // Труды ВНИРО. Том СХХVII. С. 23–32.
- Васильев Д.А. 2001. Когортные модели и анализ промысловых биоресурсов при дефиците информационного обеспечения. М.: Изд-во ВНИРО. 110 с.
- Хампель Ф., Рончетти Э., Рауссеу П., Штаэль В. 1989. Робастность в статистике. Подход на основе функции влияния. М.: Мир. 512 с.
- Hillary R. M., Agnew D.J. 2006. Using Mark-Recapture and Catch-Age Data to Estimate Fishing and Natural Mortality for the Patagonian Toothfish at South Georgia // CCAMLR WG-FSA-SAM-06/6. 12 p.
- Polacheck T., Paige-Eveson J., Laslett G. M., Pollock K.H., Hearn W.S. 2006. Integrating Catch-at-age and Multiyear Tagging Data: A Combined Brownie and Petersen Estimation Approach in a Fishery Context // Can. J. Fish. Aquat. Sci. № 63. P. 534–548.
- Skagen D. 2002. AMCI Version 2.2, May 2002. Assessment Model Combining Information from Various Sources. Versions 2x: Area disaggregated. Model description. Institute of Marine Research. Bergen, Norway.
- Seber G.A.F. 1982. The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters. New York: MacMillan Publishing. 654 p.
- Vasilyev D. 2004. Winsorization: Does It Help in Cohort Models? // ICES CM2004/K:45.
- Vasilyev D. 2005. Key Aspects of Robust Fish Stock Assessment. М.: VNIRO Publishing. 105 p.
- Vasilyev D. 2006. Change in Catchability Caused by Year Class Peculiarities: How Stock Assessment Based on Separable Cohort Models Is Able to Take It into Account? (Some illustrations for triple-separable case of the ISVPA model — TISVPA) // ICES CM 2006/O:18. 35 p.
- Vasilyev D., Tjelmeland S. 2007. History and Modern State of Stock Assessment Methodology for Norwegian Spring Spawning Herring // Application of new technologies for assessment of marine living resources in the North-Eastern Atlantic. Murmansk. P. 28–40.
- Vasilyev D., Shust K., Babayan V., Bulgakova T. 2007. Update of the Antarctic Toothfish Stock Assessment for the Ross Sea by Means of the TSVPA Separable Cohort Model //CCAMLR WG-SAM-07/9. 10 p.

The Use of Tagging Data to Increase Reliability of Stock Assessment Results

D. Vasilyev, V. Babayan, T. Bulgakova

Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO, Moscow)
e-mail: dvasilyev@vniro.ru

Some aspects of incorporation of tagging data into stock assessment procedure by means of cohort models are discussed.

Key words: tagging, stock assessment.