

КРЕВЕТКИ, ЭУФАУЗИВЫЕ И ЖАБРОНОГИЕ

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЙЕСОВСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСА СЕВЕРНОЙ КРЕВЕТКИ (*PANDALUS BOREALIS*) В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

С.В. Баканев

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО), г. Мурманск

ON THE POSSIBILITY OF USING BAYESIAN APPROACH IN STOCK ASSESSMENT OF THE NORTHERN SHRIMP (*PANDALUS BOREALIS*) IN THE BARENTS SEA

Теорема Байеса и математические подходы, использующие эту теорему, начали активно применяться в промысловой биологии в начале 90-х годов прошлого столетия. В настоящее время такие модели широко используются для описания состояния запасов, прогнозирования и оценки ориентиров управления морских млекопитающих, рыб и беспозвоночных. Модели были успешно адаптированы для запасов северной креветки, канадского лосося, южноафриканского анчоуса, усатых китов, тихоокеанского палтуса, тихоокеанской сельди и т.д. Оценки состояния запасов и прогнозы, выполненные этим методом, получили поддержку различных научных организаций: АНТКОМ, ФАО, НАФО, НЕАФК, ИКЕС.

Цель данной работы – оценить возможность использования данного метода для описания популяционной динамики и определения ОДУ северной креветки Баренцева моря и архипелага Шпицберген.

Модель реализована на основе метода анализа систем в пространстве состояний (state-space methods). Данный метод позволяет связывать временные ряды наблюдаемых индексов с ненаблюдаемыми значениями абсолютной численности и биомассы, учитывать методические ошибки и ошибки наблюдений. Кроме того, подход обладает достаточной гибкостью в построении моделей динамики запаса и соотношений данные - запас. Применение байесовского подхода и продукционной модели для запасов северной креветки была впервые описана в работе К. Хвингела и М. Кингсли [Hvingel and Kingsley, 2006].

Для математической реализации динамики биомассы мы использовали логистическую модель популяционного роста, имеющую дискретный вид [Pella and Tomlinson 1969]:

$$B_{t+1} = B_t - C_t - V_t + \lambda MSY \frac{B_t}{K} \left(1 - \left(\frac{B_t}{K} \right)^{m-1} \right), \quad \lambda = \frac{m}{m-1}$$

B_t - биомасса в году t . K - емкость среды, MSY - максимально устойчивый вылов. C_t – вылов, V_t – биомасса креветки, потребленной треской в году t , m – параметр формы кривой «запас-пополнение».

Алгоритмы вычисления, моделирование и диагностика были реализованы в программном продукте WinBUGS v.1.3, разработанном в Великобритании (www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs; Gilks *et al.* 1994).

В модели использованы две серии индексов биомассы: стандартизированный индекс улова на усилие ($CPUE_t$) российского промысла креветки в 1982-2005 гг. и индекс биомассы ($surv_t$), полученный по результатам норвежских съемок в 1982-2004 гг. Отношение индексов к реальной величине биомассы выражается через коэффициенты улавливаемости q_c и q_s соответственно.

Принимается, что ошибки наблюдений ω и κ распределяются логнормально, биомасса имеет относительную величину ($P_t = B_t/B_{MSY}$) и распределение данных выглядит так:

$$CPUE_t \sim q_c B_{MSY} P_t \exp(\omega_t),$$

$$surv_t \sim q_s B_{MSY} P_t \exp(\kappa_t)$$

Данные по вылову креветки и смертности, связанной с хищничеством трески, взяты из материалов рабочей группы НАФО/ИКЕС по северной креветке и отчета арктической рабочей группы (Aschan, Vakanev, 2005; Anon., 2005). Принимается, что данные по вылову имеют надежную оценку и в модель включаются с отсутствием ошибки, а выбросы креветки, если они существуют, незначительны. Ошибка наблюдений для смертности, связанной с хищничеством трески, распределяется логнормально.

Расчеты динамики запаса с использованием подхода Байеса требуют выбора так называемых "прайеров", т.е. оцененных или принятых распределений априорных вероятностей ненаблюдаемых значений. Распределения априорной вероятности параметров значений в ситуациях недостатка данных (например, при моделировании большинства морских популяций) могут существенно влиять на апостериорное распределение и, соответственно, изменять результаты расчетов. Априорное распределение для MSY было описано с помощью прайера с однородным распределением в логарифмическом масштабе между $\log(100\ 000)$ и $\log(1\ 000\ 000)$. Нижняя граница в 100000 т была выбрана с учетом минимально оцененного изъятия, как промыслом, так и из-за хищничества трески, а также на основе самой пессимистической оценки продукционной способности запаса при минимальных значениях плотности промыслового запаса. Верхняя граница была выбрана произвольно и имеет достаточно высокую величину, чтобы не пересекаться с апостериорным распределением.

Максимальный вылов креветки в Баренцевом море и районе арх. Шпицберген наблюдался в середине 80-х годов прошлого столетия и составлял чуть менее 130 тыс. т, а смертность креветки от хищничества трески в эти годы была оценена в пределах 150-440 тыс. т, т.е. общее изъятие креветки в год могло составить 280-570 тыс. т. Максимальное общее изъятие можно принять за нижнюю границу K . Верхнюю границу достаточно сложно определить. Тем не менее, используя некоторую информацию можно ограничить этот показатель от нереальной сверхвысокой величины. Для верхнего предела K принимается в расчет то, что максимально высокие плотности когда-либо зарегистрированные во время съемки с учетом коэффициента уловистости [Berenboim et al., 1986] достигали $0,1\text{ кг/м}^2$. Если допустить, что площадь распределения запаса соответствует площади съемки (176229 км^2), около двух третьих из которой не имеет промыслового значения и соответственно на которых крайне мала вероятность обитания креветки с максимальной плотностью, то верхняя граница K может достигать порядка 6 000 тыс. т. Учитывая результаты предыдущих исследований динамики запаса с помощью продукционных моделей, где оцененный уровень общей биомассы варьировал в пределах 500-1200 тыс. т (Беренбойм, Коржев, 1997), а режим эксплуатации рассматривался как щадящий, можно предположить, что в данном случае емкость среды могла составить 1000-2400 тыс. т (если допустить, что уровень биомассы приблизительно соответствовал уровню B_{MSY}). На основе этих предположений мы оценили прайер для K как имеющий гамма-распределение ($K \sim \text{dgamma}(2, 0.001)$) с медианой в 1700 тыс. т с границами распределения ($P=95\%$) от 250 тыс. т до 6000 тыс. т.

Коэффициенты улавливаемости q_c и q_s , масштабируют индексы биомассы по съемке и уловам на усилие относительно величин абсолютной численности биомассы. Априорная информация об этих величинах практически отсутствует, поэтому использовались «экспертные» прайеры с логнормальным распределением $\ln(q_c) \sim U(-15, 1)$ и $\ln(q_s) \sim U(-10, 1)$, где U – однородное распределение.

Априорная информация для параметра формы m для баренцевоморской метапопуляции креветки отсутствует. Тем не менее, прайер для m должен быть информативным, так как является коэффициентом, определяющим отношение B_{MSY} к K . Для перевода отношения B_{MSY}/K в показатель m была использована аппроксимирующая функция. Кривая m как функция B_{MSY}/K в интервале

$0.37 < B_{MSY}/K < 0.6$ была описана функцией $m = a * \exp(b * P_{MSY})$ с соответствующими значениями a (0.1817), b (5.1174) и c (1.0938).

Для оценки точности описания моделью данных был произведен сравнительный анализ наблюдаемых значений и их рассчитанных распределений. Были определены остатки между наблюдаемыми и их рассчитанными значениями при каждом итерационном шаге. Суммарная статистика распределения этих остатков показывает, что данные достаточно хорошо описываются расчетными величинами. Тренды в остатках не наблюдаются.

Оценка биомассы по модели хорошо коррелирует с индексами численности по съемки и уловами на усилие. Максимально устойчивое изъятие с учетом хищничества трески составило 370 тыс. т при биомассе B_{MSY} равной 2.2 млн. т и K – 4.5 млн. т. Рассчитанные относительные индексы биомассы и степень эксплуатации запаса показывают, что за 1982-2005 гг. состояние запаса не было критическим и в большинстве случаев находилось в зоне устойчивого состояния запаса (рис. 1). Риск-анализ показал, что с кумулятивной вероятностью превышения MSY равной 30% изъятие креветки с учетом хищничества трески может достигать 300 тыс. т.

Таким образом, выполненный анализ показывает возможность использования байесовского подхода для оценки популяционной динамики и определение ОДУ северной креветки Баренцева моря и архипелага Шпицберген.

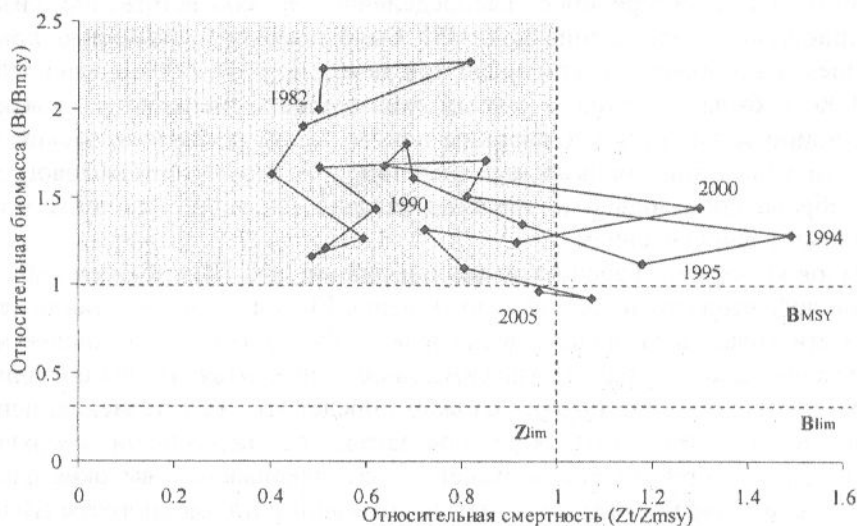


Рис. 1. Динамика запаса северной креветки в Баренцевом море в 1982-2005 гг. в зональном представлении области управления при предосторожном подходе (темная область – зона устойчивого состояния запаса).

Литература

- Беренбойм Б.И., Коржев В.А. 1997. О возможности использования производственной модели Стефанссона для оценки запаса северной креветки *Pandalus borealis* в Баренцевом море//Исследования промысловых беспозвоночных в Баренцевом море: Сб. науч. тр. ПИНРО. Мурманск: Изд-во ПИНРО. С. 20-34.
- Anonymous. 2005. ICES, Report Arctic Fisheries Working Group. 570 p.
- Aschan M., Bakanev S.V. 2005. The *Pandalus* Stock in the Barents Sea and Svalbard Area. NAFO SCR Doc. 05/90. Serial No. N5195. 15 p.
- Berenboim B.I., Lysy A.Yu. and Salmov V.Z. 1986. Soviet investigations on shrimp (*Pandalus borealis*) in the Barents Sea and Spitsbergen area in May 1985. ICES CM 1986/K. 11p.
- Gilks W.R., Thomas A. and Spiegelhalter D.J. 1994. A language and program for complex Bayesian modelling. Statistician 43. P. 169-178
- Hvingel C. and Kingsley M.C.S. 2006. A framework to model shrimp (*Pandalus borealis*) stock dynamics and to quantify the risk associated with alternative management options, using Bayesian methods. ICES Journal of Marine Science, 63. P. 68-82
- Pella J.J. and Tomlinson P.K. 1969. A generalized stock production model. Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission, 13. P. 419-496