

УДК 639.2.053.7

**Методы оценки ОДУ на основе  
биоэкономического моделирования***Р.Г. Бородин, Д.А. Васильев, Ю.Н. Ефимов*

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО,  
г. Москва)  
e-mail: borodin@vniro.ru

Рассмотрены общие подходы применения биоэкономических моделей для оценки ОДУ. Приведен пример анализа экономической эффективности промысла мойвы средствами биоэкономического моделирования.

**Ключевые слова:** оценка общего допустимого улова, биоэкономическое моделирование.

**ВВЕДЕНИЕ**

В последние десятилетия промысловая деятельность практически во всём мире беспрецедентно выросла как по эффективности (благодаря совершенствованию технологий), так и по промысловому потенциалу. Свидетельства роста влияния промысла на скорость воспроизводства ресурсов и результаты биоэкономического моделирования, начавшего развиваться с 1950-х гг., привели к всеобщему пониманию необходимости регулировать промысел с целью оптимизации производства и экономического выхода промыслов. Подход Гордона-Шефера [Gordon, 1953; Shaefer, 1954], получивший развитие в большом количестве дальнейших исследований, показал, что система «запас — промысел» может быть подведена к состоянию, необходимому для получения максимального улова в его денежном выражении — максимального экономического улова (МЕУ).

При этом наблюдается растущая тенденция к включению также и немонетаристских кри-

териев в биоэкономический анализ промысла, например, таких, как сохранение морского биоразнообразия, защита видов, находящихся на грани исчезновения, а также других, не измеряемых деньгами величин (ценность существования и ценность разнообразия спроса). Этот подход объединяет экономические и экологические критерии, которые часто конфликтуют друг с другом.

Одновременно в связи со значительными изменениями системы собственности в рыбохозяйственной отрасли, её диверсификации, анализ экономической эффективности эксплуатации морских биоресурсов в настоящее время обретает особое значение. В этой связи в отечественной и мировой рыбохозяйственной науке проводятся интенсивные исследования с целью разработки наиболее эффективных мер управления промыслом в дополнение к регулированию посредством общего допустимого улова (ОДУ) на основе сочетания административных, правовых, экономических (биоэкономических), биологических и технических мер.

Данная статья является развитием предыдущих работ авторов в данном направлении (см., например, [Бородин и др., 2010]) и посвящена некоторым примерам построения практических биоэкономических моделей.

### ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Для оценки экономической эффективности промысла можно применить следующие показатели:

1. Валовой продукт в оптово-отпускных ценах:

$$TR = \rho C_s,$$

где  $\rho$  — цена единицы продукта.

2. Общие затраты:

$$TC = cf,$$

где  $c$  — затраты на единицу усилия.

3. Общая прибыль (доход):

$$D = TR - TC.$$

Валовой продукт промысла (возможная стабильная добыча  $C_s$  как функция промыслового усилия  $f$ ) может быть записан в виде:

$$C_s = af(b - f)^{\frac{1}{n-1}},$$

где

$$a = \frac{q_2}{K_1};$$

$$b = \frac{q}{a}.$$

Стабильная добыча на единицу промыслового усилия  $\frac{C_s}{f}$  может быть представлена как:

$$\frac{C_s}{f} = a(b - f)^{\frac{1}{n-1}}.$$

Для удобства анализа промысла многих запасов хорошим приближением к результатам наблюдений за изменением уловов на усилие будет случай, когда в уравнениях  $n = 2$ .

Тогда получим:

$$C_s = af(b - f)$$

и

$$\frac{C_s}{f} = a(b - f).$$

Колебания в величине  $n$  не изменяют характер дальнейших рассуждений.

Валовой продукт в оптово-отпускных ценах:

$$TR = \rho af(b - f).$$

Простейшая биоэкономическая модель промысла может быть представлена уравнениями:

$$\begin{aligned} C_s &= af(b - f); \\ TR &= \rho C_s; \\ TC &= cf. \end{aligned}$$

Проведем анализ этой модели в относительных координатах. Для этого введём следующие обозначения:

1. Цена одной единицы добычи  $\rho = 1,0$ .
2. Затраты на единицу промыслового усилия будут функцией  $c$  ( $c/\rho$  — отношение затрат на единицу промыслового усилия к цене единицы добычи).
3. Промысловое усилие  $f$  изменяется от 0 до 1.
4.  $MSD = -1,0$  при  $f = f_{MSY} = 0,5$ .

Приняв такие обозначения, зависимость  $TR = V(f)$  можно записать как:

$$V = af(b - f)$$

Величина  $V$  достигает максимума при выполнении условия  $\frac{dV}{df} = 0$ , т.е.

$$\frac{dV}{df} = a(b - 2f) = 0.$$

Отсюда  $V_{\max}$  будет получено при усилии  $f = b/2$ .

Оценки параметров  $a$  и  $b$  составят:

при  $V = 0$ ;  $f = 1,0$  и  $0 = a(b - 1)$

и

при  $V = 1,0$ ,  $f = 0,5$  и  $1,0 = a \cdot 0,5(1 - 0,5)$ , откуда  $b = 1$ ,  $a = 4$ .

Следовательно, можно записать:

$$V = 4f(1 - f).$$

Затраты на промысловое усилие  $TC = X$ :

$$X = cf,$$

откуда  $f_{MSY} = \frac{1}{2}$ .

Таким образом, максимальный валовой продукт (максимальный уравновешенный MSY) в оптово-отпускных ценах может быть

получен при усилии  $f_{MSY} = \frac{1}{2}$ .

Средний валовой продукт на единицу усилия можно найти как:

$$\frac{V}{f} = 4(1-f).$$

Средние затраты на единицу усилия:

$$c = \frac{X}{f}.$$

Чистая экономическая прибыль  $D$  равна разности  $V$  и  $X$ , т.е.:

$$D = V - X = 4f(1-f) - cf.$$

$D$  достигнет максимума, если будет выполняться условие:

$$\frac{dV}{df} = \frac{dX}{df}$$

или

$$4(1-2f) - c = 0.$$

Допустим, что при промысловом усилии  $f = f_o$  промысел становится нерентабельным, т.е.  $D = V - X = 0$ . Стоимость возможной добычи в этом случае составит:

$$V_o = 4f_o(1-f_o),$$

а затраты на усилие:

$$X_o = cf_o.$$

Приравняв правые части двух приведённых выше уравнений, получим:

$$c = 4(1-f_o).$$

Чистая экономическая прибыль достигает максимума при  $f_{MЭП} = f_o$ :

$$D_{\max} = 4f_{MЭП}(1-f_{MЭП}) - 4(1-f_o)f_{MЭП}$$

или, подставив  $f_{MЭП} = \frac{f_o}{2}$  и сделав преобразование, получим:

$$D_{\max} = f_o^2.$$

Чистая экономическая прибыль на уровне MSY составит:

$$D_{MSY} = 1 - 2(1-f_o) = 2f_o - 1.$$

Возьмём отношение:

$$\frac{D_{\max}}{D_{MSY}} = \frac{f_o^2}{2f_o - 1},$$

которое характеризует, во сколько раз чистая экономическая прибыль  $D_{\max}$  больше чистой экономической прибыли от запаса на уровне MSY. Например, при  $f_o = 0,75$   $D_{\max} > D_{MSY}$  примерно на 11%. В этом случае  $V_o$  будет ниже  $V_{MSY}$  и составит от  $V_{MSY}$ :

$$V_o = 4\left(\frac{f_o}{2}\right)\left(1 - \frac{f_o}{2}\right) = 0,94.$$

Это говорит о том, что в данном случае при снижении валового продукта на 6% можно получить чистую экономическую прибыль на 11% больше, сократив затраты на промысловое усилие на 24%.

Если добыча на единицу промыслового усилия пропорциональна запасу, то можно записать следующие соотношения:

$$\frac{\frac{C_s}{f}(D_{\max})}{\frac{C_s}{f}(D_{MSY})} = 2 - f_o$$

и

$$\frac{\frac{C_s}{f}(D_{\max})}{\frac{C_s}{f}(D_o)} = \frac{1 + f_o}{2 - f_o}.$$

В нашем примере  $f_o = 0,75$  добыча на единицу промыслового усилия при  $D_{\max}$  в 1,25 раза больше, чем при  $D_{MSY}$ , и в 3 больше, чем при  $D = 0$ .

Таким образом, несколько уменьшив вылов и при этом значительно сократив затраты на промысловое усилие  $f$ , можно получить максимальную экономическую прибыль от промысла.

Если интенсивность промысла будет увеличиваться до уровня  $f_{MSY}$ , то средний валовой продукт в опгово-отпускных ценах на единицу усилия ( $V/f$ ) будет всегда больше средних затрат на единицу усилия ( $X/f$ ).

Случай, при котором  $\frac{dV}{df} = \frac{dX}{df}$ , называют маргинальным и говорят, что маргинальный возврат (marginal return) равен маргинальным затратам (marginal cost).

Анализ показывает, что интенсивность промысла выгодно увеличивать лишь до тех пор, пока  $C$  остается меньше  $V/f$ . Прибыль  $D$  будет максимальной при  $f_{MEY}$ . Уровень усилия  $f_{MSY}$  соответствует максимальной  $V_{MSY}$  (максимальному устойчивому улову  $MSY$ ).

В зависимости от целей регулирования промысла (получение максимального  $V$  или максимальной  $D$ ) его интенсивность следует увеличивать до  $f_{MSY}$  или  $f_{MЭП}$  соответственно. Если уровень усилия оказался больше  $f_{MSY}$ , интенсивность лова надо сократить, поскольку и общая продукция уменьшается, и получение этой продукции нерентабельно. При этом, если затраты на единицу усилия постоянны, то, сократив промысловое усилие, можно получить сразу же и больший валовой продукт, и некоторую экономическую прибыль.

Таким образом, анализ условий получения чистой экономической прибыли  $D$  показывает, что  $D_{max}$  может быть получен при определённом промысловом усилии  $f_{MЭП}$  меньше, чем то, которое соответствует  $f_{MSY}$ , и при этом добыча на уровне  $f_{MEY}$  будет также несколько меньше  $MSY$ .

Для практических целей не менее важно оценить и уровень запаса  $N$ , соответствующий  $D_{max}$ . Зависимость между стоимостью стабильной добычи  $V_t$  и запасом  $N_t$ , которая может быть записана как:

$$V = 4N(1 - N),$$

где  $0 < N < 1,0$ ;

$$MSY = 0,5;$$

$$C_s = (0 \div 1) MSY,$$

а затраты на промысловое усилие как:

$$X = c(1 - N),$$

где  $c$  — отношение затрат на единицу промыслового усилия к цене добычи на единицу промыслового усилия.

$D$  равна разности между  $V$  и  $X$ :

$$D = 4N(1 - N) - c(1 - N).$$

Кривая  $D(N)$  будет иметь максимум при:

$$N_{MEY} = 0,5 + \frac{c}{8}.$$

В точке  $D = 0$  уравнение для затрат на промысловое усилие можно записать в виде:

$$X_o = c(1 - N_o),$$

и

$$V_o = 4N_o(1 - N_o).$$

Так как в точке  $D = 0$ , затраты  $X_o$  равны стоимости добычи  $V_o$ , то:

$$C(1 - N_o) = 4N_o(1 - N_o),$$

откуда  $C = 4N_o$ .

Кривая  $D(N)$  имеет максимум при:

$$N_{MЭП} = \frac{1 + N_o}{2}.$$

Чистая экономическая прибыль на уровне  $N_{MЭП}$  соответствует  $D_{max} = 1 - N_o$ .

Отношение  $D_{max}$  на уровне запаса  $N_{MEY}$  к  $D_{MSY}$  на уровне запаса  $N_{MSY}$  запишется как:

$$\frac{D_{max}}{D_{MSY}} = \frac{(1 - N_o)^2}{1 - 2N_o}.$$

Если принять, что добыча на единицу промыслового усилия  $\frac{C_s}{f}$  пропорциональна запасу  $N$ , то можно записать следующие отношения:

$$\frac{\frac{C_s}{f}(D_{max})}{\frac{C_s}{f}(D_{MSY})} = 1 + N_o.$$

и

$$\frac{\frac{C_s}{f}(D_{\max})}{\frac{C_s}{f}(D_o)} = 0,5 \left( 1 + \frac{1}{N_o} \right).$$

Для моделей, которым соответствуют асимметричные кривые  $V(N)$ , запас  $N_{MEY}$ , соответствующий  $D_{\max}$  лежит между:

$$N_{MSY} \leq N_{MЭП} \leq (1 - N_o)N_{MSY} + N_o.$$

Семейство кривых  $V(N)$  для модели типа Пелла-Томлинсона описываются уравнением:

$$V = \frac{N(1 - N^{n-1})}{b},$$

где

$$b = \left( \frac{1}{n} \right)^{n-1} \left( \frac{n}{n-1} \right).$$

При  $n > 2$  кривые  $V(N)$  скошены вправо и будут иметь максимумы при:

$$N_{MSY} = \left( \frac{1}{n} \right)^{\frac{1}{n-1}}.$$

Зависимость  $D(N)$  может быть записана в виде:

$$D = \frac{(N - N_o)(1 - N^{n-1})}{b}.$$

Запишем отношение  $D_{\max}$  к  $D_{MSY}$ :

$$\frac{D_{\max}}{D_{MSY}} = \frac{(N - N_o)(1 - N^{n-1})}{(N_{MSY} - N_o)(1 - N_{MSY}^{n-1})}.$$

Кривая  $D(N)$  имеет максимум при запасе  $N_{MEY}$ , которое определяется из соотношения:

$$nN^{n-1} = N_o(n-1)N_{MEY}^{n-2} + 1.$$

Возьмем, например, случай, когда  $n = 3$ , тогда:

$$N_{MEY} = \frac{(N_o + \sqrt{N_o^2 + 3})}{3}.$$

Отношение величины запаса  $N_{MEY}$ , обеспечивающего  $D_{\max}$  к запасу  $N_{MSY}$ , соответствующему MSY, можно записать в виде:

$$\frac{N_{MEY}}{N_{MSY}} = \frac{(N_o + \sqrt{N_o^2 + 3})}{\sqrt{3}}.$$

Чистая экономическая прибыль для случая  $n = 3$ :

$$D_{\max} = \frac{[3(N_{MEY} - N_o)(1 - N_{MEY}^2)]}{2 \left( \frac{1}{\sqrt{3}} N_o \right)}.$$

Теперь рассмотрим зависимость между запасом  $N$  и промысловым усилием  $f$  для некоторых основных случаев.

Известно, что:

$$C_s = qfN$$

и

$$C_s = \frac{N(1 - N^{n-1})}{b}.$$

Отсюда:

$$F = qf = \frac{(1 - N^{n-1})}{b}$$

$$(f = 1,0 \text{ при } N_{MSY} = 0,5)$$

или для запаса, обеспечивающего MSY,

$$F_{MSY} = \frac{(1 - N_{MSY}^{n-1})}{b}.$$

Возьмём три критических случая изменения  $f$  (примем  $f_t = \frac{F_t}{F_{MSY}}$ ):

1.  $C_s = 0; f = 0$  (запас полностью исчез);
2.  $D_o = 0; f_o < f$  (промысел нерентабелен);

3.  $D = D_{\max}; f_{MEY}$  (наибольшая чистая экономическая прибыль).

Для этих трёх случаев находим соответствующие  $f$ :

1.  $f = \frac{1}{(1 - N_{MSY}^{n-1})} = \frac{n}{n-1} N_{MSY}$ ;
2.  $f_o = f(1 - N_o^{n-1})$ ;
3.  $f_{MEY} = f(1 - N_{MEY}^{n-1}) = \frac{n}{n-1}(1 - N_{MEY}^{n-1})$ .

Запас  $N_{MEY}$ , соответствующий MEY, находится в пределах  $N_{MSY} < N_{MEY} < N_{\max}$ .

Обозначим отношение стоимости всей продукции  $V$  к промышленным затратам на уровне запаса  $N_{MSY}$  как  $\vartheta = \frac{V}{X}$ , тогда:

$$N_{MEY} = \frac{2\vartheta + 1}{4\vartheta}.$$

Например [Holt, 1975], если  $\vartheta = 1,0$  на уровне запаса  $N_{MSY}$ , то МЭП может быть получен на уровне  $N_{MEP} = 0,75 N_{\max}$ . При  $\vartheta = 1,2$ ,  $N_{MEP} = 0,71 N_{\max}$  и отношение

$$\frac{C_{MEY}}{C_{MSY}} = 0,82.$$

Как видно, с увеличением  $\vartheta$   $N_{MEP}$  приближается к уровню  $N_{MSY}$ , но всегда при  $\vartheta > 1,0$  промысел будет рентабельным при  $N_{MSY} < N_{MEY}$ .

Следовательно, в любом случае запасы выгоднее эксплуатировать на уровне запаса выше, чем  $N_{MSY}$ .

Все рассмотренные случаи относятся к ситуации, когда запасы находятся в стабильном сбалансированном состоянии, а такие условия получения возможной прибыли, как время, в течение которого можно окупить затраты, коэффициенты дисконтирования и др., не учитывались.

Один и тот же доход  $TR$  можно получить и за  $t$  лет, и за  $2t$  лет. Следует также подсчитать, будет ли выгоднее получить, например, доход  $TR$  сейчас или, скажем,  $2TR$  через десять лет, или ежегодно получать  $\frac{TR}{t}$  при-

быль. Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо проанализировать условия, при которых мы можем достигнуть максимальной выгоды в разных ситуациях, т.е. решить задачи оптимизации.

Возможная добыча  $C_t$  в году  $t$  является функцией промышленного усилия  $f_t$  и запаса  $N_t$ . В свою очередь, запас  $N_t$  изменялся под действием промышленного усилия в предшествующие годы, т.е.  $N_t(f_{t-1}; f_{t-2}; \dots)$ .

Доход  $TR$ , полученный в году  $t$ , может быть выражен как:

$$TR = \rho_t q f_t N_t(f_{t-1}; f_{t-2}; \dots),$$

где  $\rho_t$  — цена единицы продукции в году  $t$ .

Чистую экономическую прибыль, полученную как разность между доходами и затратами, можно представить как:

$$D_t = TR_t - C_t f_t \{ \rho_t q f_t N_t(f_{t-1}; f_{t-2}; \dots) - C_t f_t \}.$$

Управляя величиной добычи  $C_t$  или промышленного усилия  $f_t$ , можно изменять чистую экономическую прибыль  $D_t$ . Для управления этими факторами и прогнозирования ситуации выбирают определённый период времени (обычно не более 20 лет).

Общую чистую экономическую прибыль за период времени  $t$  можно подсчитать, суммируя ежегодную чистую прибыль. Однако с экономической точки зрения эта суммарная прибыль без учёта так называемого процента скидки (discount rate) не имеет большого смысла. Если мы пытаемся оценить чистую прибыль в будущем году, то в расчётах необходимо сделать соответствующую скидку (коэффициент дисконтирования). Одним из стандартов для оценки такой скидки может служить банковский процент.

С учётом коэффициента дисконтирования возможная чистая прибыль на второй год составит  $(1 + K)D$ , на третий год —  $(1 + K)^2 D$ , через  $t$  лет —  $(1 + K)^t D$ .

При коэффициенте мгновенного дисконтирования, равном  $\delta = \ln(1 + K)$ , выражение для будущей чистой прибыли  $PV$  (present value) в году  $t$  запишется как:

$$PV_t = D e^{-\delta t}.$$

Тогда будущая чистая прибыль  $PV$  для ряда лет  $0 \div T$  может составить:

$$PV = \sum_0^{T-1} \frac{1}{(1+K)^K} \left\{ \rho_t q N_t (f_{t-1}; f_{t-2}; \dots) - C_t \right\} f_t$$

или, в общем виде:

$$PV = \int_0^T D(t) e^{-\delta t} dt.$$

С помощью данного уравнения можно оценить ежегодные затраты (промысловое усилие), соответствующие максимальной чистой экономической прибыли. Для этого следует также найти оптимальный запас  $N^*$ . Этот запас и соответствующую ему уравновешенную добычу  $C_s$  при определённых коэффициентах дисконтирования можно найти следующим образом.

Чистая экономическая прибыль  $D$  в единицу времени  $t$  равна:

$$D\Delta t = D(N, f)\Delta t = (\rho C_s - cf)\Delta t = (\rho C_t(N) - c)f\Delta t = [\rho - c(N)]C_s\Delta t,$$

где:

$$C_s(N) = \frac{c}{C_t(N)}.$$

Если принять  $C_s\Delta t = 1,0$ , то затраты примут вид:

$$cf\Delta t = \frac{C}{C_t(N)} C_s\Delta t = c(N)C_s\Delta t = c(N).$$

Из этого уравнения следует, что  $c(N)$  равно затратам на получение единицы продукции на уровне запаса  $N$ .

Максимальная дисконтированная чистая экономическая прибыль  $PV$  (при положительном коэффициенте дисконтирования  $\delta > 0$ ) выражается как:

$$PV = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} D(N, f) dt = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} \left\{ \rho - c(N) \right\} C_s(t) dt.$$

## НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ БИОЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИСТЕМ «ЗАПАС — ПРОМЫСЕЛ»

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗАПАСОВ СИНИХ КИТОВ.** Рассмотрим экономические факторы при эксплуатации запасов синих китов. Их первоначальная численность  $N_1$  составляла 150 тыс. голов. В основу управления положим критерий получения максимального устойчивого улова (MSY). Используя логистическую модель, определяем, что MSY = 2000 китов при запасах  $N_{MSY} = 75$  тыс. китов. Следовательно, надо довести первоначальный запас  $N_1$  в соответствии с критерием получения MSY до уровня  $N_{MSY}$ . На международном рынке в 1930-е гг. цена продукции, полученной из одного среднего синего кита, составляла 10 тыс. долларов США. Значит, при принятом критерии MSY, равном 2000 китов, ежегодно можно было бы получать 20 млн долларов. Однако для доведения запаса до уровня  $N_{MSY}$  добывающая промышленность может пойти другим путём, а именно добыть как можно быстрее 75 тыс. китов и получить прибыль 750 млн долларов. Затем инвестировать в надёжную индустрию или положить в банк минимум под 5% в год и получать ежегодно 37,5 млн долларов. Отсюда видно, что для достижения одного и того же биологического эффекта (получение MSY) можно идти разными путями с различной выгодой.

Добывающие страны в целом пошли наиболее экономически выгодным путём. В 1930-е гг. не существовало разработанных критериев управления запасами китов, и китодобывающие страны быстро истребили наиболее экономически выгодных синих китов. Естественно, целенаправленный промысел синих китов в силу их редкого обнаружения стал невыгодным, хотя при случайной встрече может составить неплохую прибыль.

Найдём оптимальные уровни запаса  $N^*$ , соответствующие максимальной прибыли при определённых уровнях дисконтирования для антарктических финвалов. На основе логистической модели имеем:

$$F(N) = rN \left( 1 - \frac{N}{K} \right) \text{ и } C(N) = \frac{c}{N}.$$

Подставив эти выражения в уравнение:

$$\frac{d}{dN} \left\{ \left[ \rho - c(N) \right] F(N) \right\} = \delta \left[ \rho - \frac{c}{N} \right],$$

получим:

$$\frac{d}{dN} \left[ \left( \rho - \frac{c}{N} \right) rN \left( 1 - \frac{N}{K} \right) \right] = \delta \left( \rho - \frac{c}{N} \right).$$

Дифференцируя это уравнение по  $N$ , находим выражения для оптимального  $N^*$ :

$$N^* = \frac{K}{4} \left[ \left( \frac{c}{\rho K} + 1 - \frac{\delta}{r} \right) + \sqrt{\left( \frac{c}{\rho N} + 1 - \frac{\delta}{r} \right)^2 + \frac{8c\delta}{\rho K r}} \right].$$

В этом уравнении сделаем следующие замены:

$$Z^* = \frac{N^*}{K};$$

$$Z_\infty = \frac{N_\infty}{K} = \frac{c}{\rho K};$$

$$v = \frac{\delta}{r},$$

где  $Z^*$  — доля запаса  $N^*$  от первоначального запаса  $K$ ;  $Z$  — параметр, характеризующий нерегулируемый промысел, когда запас находится на уровне рассеивания прибыли;  $v$  — отношение коэффициента дисконтирования  $\delta$  к коэффициенту внутреннего роста запаса  $r$ .

Подставив эти выражения в уравнение для оптимального  $N^*$ : получим:

$$Z^* = \frac{1}{4} \left[ 1 + Z_\infty - v + \sqrt{\left( 1 + Z_\infty - v \right)^2 + 8Z_\infty} \right].$$

Величина  $Z^*$  является функцией параметров  $Z_\infty$  и  $v$ . Нормализованные значения  $Z^*$  в зависимости от  $Z_\infty$  и  $v$  приведены в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что, например, при  $\delta = 0$  и  $v = 0$  оптимальный запас соответствует:

$$Z^* = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} Z_\infty$$

и, следовательно, он всегда выше, чем уровень запаса ( $Z_{MSY} = 0,5$ ), обеспечивающий получение  $MSY$ .

Теперь оценим оптимальные уровни запаса  $N^*$ , соответствующие максимальной прибыли при различных значениях коэффициента дисконтирования для антарктических финвалов.

Известно, что первоначальная численность финвалов  $N_1 = K = 400$  тыс. китов, относительное ежегодное пополнение  $r = 0,08$ , цена продукции  $\rho$ , полученной из одного среднего финвала, составляла в 1930-е гг. 5000 долларов США.

С помощью таблицы 1 были получены оптимальные уровни запаса  $N^*$  и уравновешенной добычи  $C_s$  для антарктических финвалов при различных коэффициентах дисконтирования  $\delta$  (таблица 2).

Из таблицы 2 видно, что оптимальный запас  $N^*$  и соответствующая ему уравновешенная добыча  $C_s$  очень чувствительны к уровню дисконтирования  $\delta$ . При  $\delta = 20\%$  оптимальный запас резко снижается (до 60 тыс. китов), а уравновешенная добыча  $C_s$  составляет менее половины  $MSY$ .

Таким образом, на первоначальном этапе китобойного промысла, когда снимался естественный (накопленный) запас при низком относительном пополнении можно очень быстро получить наибольшую экономическую чистую прибыль. Причём увеличение коэффициента дисконтирования  $\delta$  ведёт к большей разности между  $PV$ , полученной на уровнях  $MSY$  и  $MEY$ .

Ситуация, когда коэффициент дисконтирования небольшой, характерна для промысла, в котором стремятся к долговременной эксплуатации запасов (внутренние водоёмы, прибрежный промысел), и наоборот, в промысле в открытом океане, отличающемся большими капиталовложениями и мобильностью, придаётся большое значение скорейшему получению максимальной чистой экономической прибыли.



**Таблица 1.** Нормализованные значения  $Z^*$  в зависимости от  $Z_\infty$  и  $v$

$v / Z_\infty$	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
0	0,50	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95
0,10	0,45	0,51	0,62	0,73	0,84	0,95
0,25	0,38	0,45	0,59	0,71	0,83	0,94
0,50	0,25	0,37	0,54	0,68	0,81	0,94
1,0	0	0,25	0,47	0,65	0,79	0,93
2,0	0	0,16	0,40	0,59	0,77	0,92
3,0	0	0,14	0,37	0,57	0,75	0,92
5,0	0	0,12	0,34	0,54	0,73	0,91

**Таблица 2.** Оптимальные запасы  $N_{\text{опт}}$  и уравновешенная добыча  $C_s$  при различных значениях коэффициента дисконтирования  $\delta$

$\delta, \%$	$N_{\text{опт}}, \text{голов}$	$C_s, \text{голов}$
0	220 000	7920
1	200 000	8000
3	163 000	7726
5	133 000	7094
10	86 000	5406
15	67 000	4485
20	59 000	4024
	40 000	2880

Это приводит, соответственно, к увеличению уровня дисконтирования.

Таким образом, биоэкономический анализ китобойного промысла в Антарктике показывает, что резкое сокращение запасов самых крупных усатых китов (синего кита, горбача, финвала) произошло в результате стремления получить как можно скорее наибольшую чистую экономическую прибыль на начальном этапе освоения ресурсов.

**БИОЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОМЫСЛА МОЙВЫ.** Оценить экономическую эффективность существующих мер регулирования промысла мойвы невозможно без конкретизации промысловых систем (судов и орудий лова), используемых для облова данного запаса. Поскольку в настоящее время промысел мойвы ведётся различными странами с использованием различных судов и орудий лова для полного биоэкономического анализа необходимо иметь экономические данные по всей их совокупно-

сти. К сожалению, такой информации в настоящее время нет и её появление в будущем представляется маловероятным. В этой связи в своём анализе мы рассмотрели экономические аспекты использования на промысле мойвы лишь одного, хотя и очень важного, типа судов — судов типа РТМК-С «Моонзунд», которые задействованы на промысле мойвы, в частности, компаниями, входящими в консорциум «Мурманский траловый флот».

Входными экономическими данными для расчётов послужили издержкам судов типа РТМК-С «Моонзунд» по следующим статьям расходов: износ инвентаря, охрана труда, запчасти, прочие вспомогательные материалы, валютные и рублёвые выплаты экипажу, затраты по доставке экипажа, портовые услуги в отечественном порту, почтово-телеграфные расходы, погрузка-выгрузка, отчисления на рекламу, отчисления на ремонт, отчисления на отстой, прочие накладные расходы, амортизация, затраты на портовые услуги в иностранном порту, топливо и смазочные материалы, вспомогательные материалы, тара и тарные материалы, износ орудий лова, выгрузка продукции в порту, транспорт по доставке продукции, хранение продукции в порту и др. Все издержки были разделены на условно постоянные (не зависящие от промыслового усилия и улова), а также на затраты, пропорциональные промысловому усилию или объёму вылова.

В качестве цены за единицу улова мойвы использовалась сдатованная цена в 12 руб. за кг.

К сожалению, не было возможности учесть возможную сдачу судами типа «Моонзунд» рыбной муки.

В биоэкономическом анализе использовались следующие основные упрощающие условия допущения:

— цена на продукцию не зависит от объёма вылова (гипотеза идеально эластичного спроса);

— неизменность структуры затрат, а также стоимости факторов производства во времени;

— улов на единицу промыслового усилия пропорционален биомассе промыслового запаса с постоянным во времени коэффициентом пропорциональности;

— зависимость «запас — пополнение» описывается функцией Рикера;

— относительная селективность промысла не зависит от времени и промысловой обстановки.

Расчёты основывались на следующих соотношениях:

$$F_a = fs_a;$$

$$N_a = N_{a-1} \exp(-M_{a-1} - fs_{a-1});$$

$$C_a = \frac{N_a fs_a}{M_a + fs_a} [1 - \exp(-M_a - fs_a)];$$

$$\frac{Y}{R} = \left( \sum_{a=1}^n C_a w_a \right) / R;$$

$$\frac{SSB}{R} = \left( \sum_{a=1}^n N_a w_a MAT_a \right) / R;$$

$$SSB_e = \frac{1}{b} \left\{ -\ln \left[ \frac{1}{aSSB / R} \right] \right\};$$

$$R_e = \frac{SSB_e}{SSB / R};$$

$$Y_e = \frac{Y / R}{R_e},$$

где  $F_a$ ,  $N_a$ ,  $C_a$ ,  $s_a$ ,  $w_a$ ,  $MAT_a$ ,  $M_a$  — соответственно, значения мгновенного коэффициента промысловой смертности, численности, улова, относительной селективности, среднего веса особи, доли половозрелых рыб и мгновенного коэффициента естественной смертности в возрасте  $a$ ;  $f$  — коэффициент, зависящий от промыслового усилия;  $R$  — пополнение;

$Y_e$  — устойчивые уловы;  $R_e$  — устойчивое пополнение;  $SSB_e$  — устойчивая величина биомассы нерестового запаса;  $a$  и  $b$  — параметры кривой «запас — пополнение» Рикера; а также:

$$C/f = kB;$$

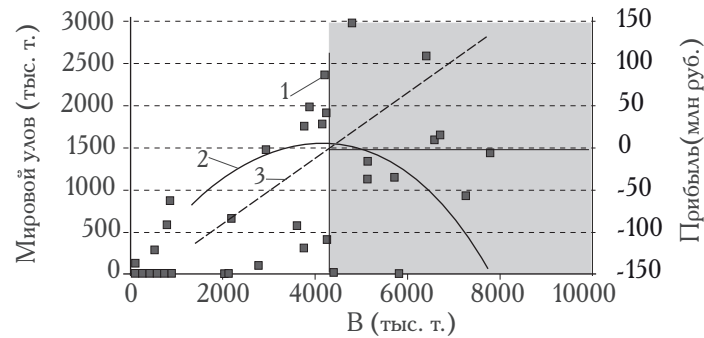
$$TR_e1 = kB_e \rho - K_{eff} f - C_e K_{catch} (f = 1);$$

$$TR_e2 = (kB_e \rho - K_{eff} f - C_e K_{catch}) (Y_e / C_e),$$

где  $TR_e1$  — оценка чистой прибыли одного судна (как функция промыслового усилия) при допущении о его пренебрежимо малом вкладе в общий промысел;  $B_e$  — устойчивая величина биомассы запаса;  $k$  — коэффициент пропорциональности между биомассой запаса и уловом на единицу усилия;  $K_{eff}$  — коэффициент пропорциональности между издержками, пропорциональными усилию, и величиной усилия;  $K_{catch}$  — коэффициент пропорциональности между издержками, пропорциональными улову, и величиной улова судна  $C$ ;  $\rho$  — цена за единицу массы выгруженного улова;  $TR_e2$  — оценка чистой прибыли судов типа «Моонзунд» в предположении, что промысел ведётся только судами данного типа; отношение  $(Y_e / C_e)$  выражает количество судов типа «Моонзунд», необходимое для выбора квоты, равной устойчивому улову.

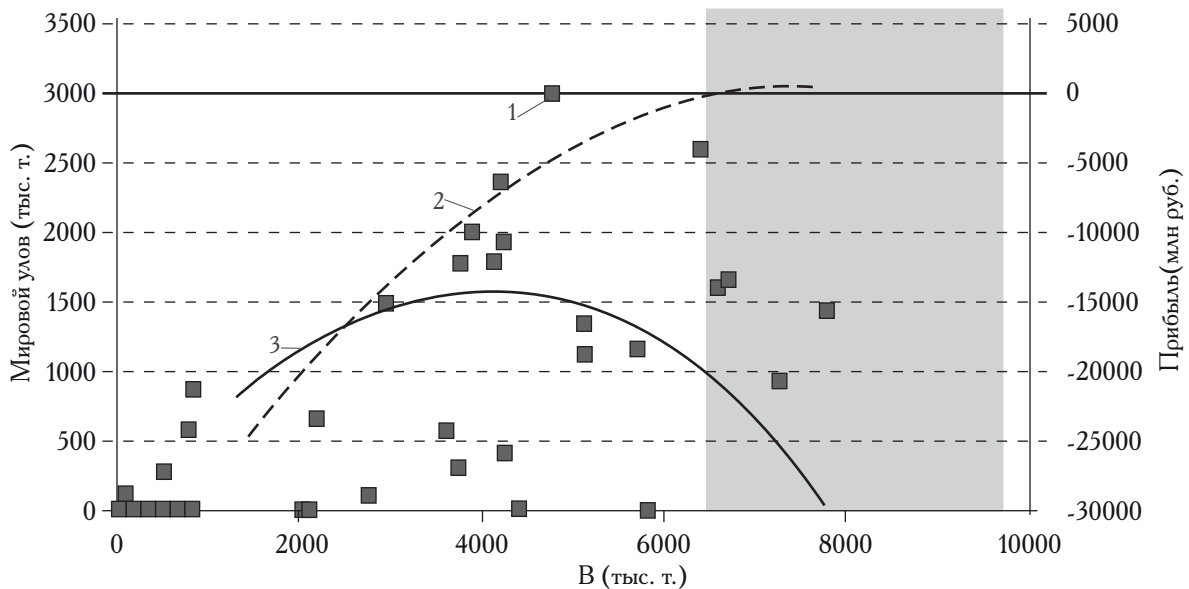
Статический анализ экономической эффективности ведения промысла мойвы судами типа «Моонзунд», проведённый при использовании гипотезы о пренебрежимо малом вкладе судов данного типа в величину общего промыслового усилия, развиваемого на промысле (рисунок 1), показывает, что условия для рентабельного ведения промысла судами данного типа наступают лишь при значениях биомассы запаса свыше 4,3 млн тонн.

Рисунок 2 иллюстрирует гипотетическую ситуацию, при которой весь промысел мойвы ведётся только судами данного типа. Как показали расчёты, в данном случае оптимальная с экономической точки зрения биомасса запаса составила бы около 7 млн тонн, что в истории наблюдалось лишь дважды: в 1975 и 1991 гг. Из рисунка также видно, что лишь при столь высоких значениях биомассы запаса гипотетический промысел, ведущийся только судами типа «Моонзунд», может быть рентабельным.



**Рис. 1.** Прибыль судна типа «Моонзунд» при условии его пренебрежимо малого вклада в общее промысловое усилие на промысле.

1 — мировой улов, 2 — устойчивый улов, 3 — прибыль судна типа «Моонзунд»



**Рис. 2.** Кривая устойчивой прибыли в гипотетической ситуации выбора всей мировой квоты судами типа «Моонзунд»

1 — мировой улов, 2 — прибыль судна типа «Моонзунд», 3 — устойчивый улов

Необходимо отметить, что расчёты были проведены в условиях существенного дефицита информации, в связи с чем их результаты могут рассматриваться только как сугубо предварительные. При появлении более надёжной и всесторонней информации расчёты могут быть уточнены.

Таким образом, проведённый анализ позволил получить предварительную оценку целевой биомассы запаса для экономической оптимизации промысла мойвы с использованием судов типа «Моонзунд», которая составляет около 7 млн т. При этом экономически рентабельным

использование судов данного типа становится при биомассе запаса более 4,3 млн т.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для решения проблемы рационального использования морских биоресурсов необходимы научно обоснованные рекомендации по регулированию их промысла.

Повышение эффективности промысла в большой степени зависит от надёжности прогнозов изменения запасов и разработанных оптимальных стратегий, опирающихся на выбранные критерии (принципы) управления запасами.

Для научного подхода к исследованию эксплуатируемых биоресурсов необходимо последовательное проведение таких операций, как измерения, анализ, описание, моделирование и оптимизация системы «запас — промысел» на конкретных примерах с учётом экономических факторов.

Для оценки экономической эффективности использования биоресурсов необходимо получение экономической информации о результатах промысла (т.е. цена единицы продукции, затраты на единицу промыслового усилия и т.д.). В условиях рынка получение таких данных весьма затруднительно.

Теоретический анализ биоэкономической модели показывает, что чистая экономическая прибыль  $D_{MEY}$  при эксплуатации биоресурсов на уровне  $V_{MEY}$  будет примерно на 11% больше, чем  $D_{MSY}$  на уровне  $V_{MSY}$  (уровне запаса, обеспечивающего получение MSY).

Следовательно, можно заключить, что несколько уменьшив общий допустимый улов и при этом сократив затраты на промысловое усилие, можно получить максимальную экономическую прибыль от промысла.

Большой возможный улов можно получить не только путём регулирования промысла, но также изменением размера ячеи в орудиях лова, т.е. возраста промыслового пополнения. Параметры промыслового усилия и возраста промыслового пополнения, оказывающие наиболее эффективное влияние на результаты промысла, называют промысловой активностью. Регулирование промысла с помощью этих двух параметров дают возможность организовать оптимальный (эвме-

трический) промысел. При эвметрическом промысле средняя величина запаса будет оставаться приблизительно постоянной, что является одним из основных условий устойчивого промысла. Это объясняется тем, что увеличение возраста промыслового пополнения приводит к увеличению общей биомассы запаса, а соответствующее увеличение промыслового усилия уменьшает её. Так как эвметричность промысла является необходимым условием оптимальности, то способы изменения величины промыслового усилия и возраста промыслового пополнения являются взаимодополняемыми, а не альтернативными.

Проведённый анализ показывает, что использование современных методов оценки ОДУ с учётом экономических показателей промысла даёт возможность организовать наиболее эффективное использование биоресурсов, получение максимальной экономической прибыли от промысла и сохранение запасов на стабильном высокопродуктивном уровне.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бородин Р.Г., Ефимов Ю.Н., Васильев Д.А.* 2010. Биоэкономическая оптимизация промыслового использования морских биоресурсов // Труды ВНИРО. Т. 149. С. 25–32.
- Gordon M.S.* 1953. An Economic Approach to the Optimum Utilization of Fishery Resources // J. Fish. Res. Bd. Canada. 10, 7. P. 442–457.
- Holt S.J.* 1975. Aspects of Determining the Level for Maximum Sustainable Yield // FAO ACMM/MM/ES/29. P. 1–7.
- Shaefer M.B.* 1954. Some Considerations in Relation to the Management of the Commercial Marine Fisheries // J. Fish. Res. Bd. Canada. Vol. 4 (5). P. 669–681.

## Method of TAC Assessment on the Basis of Bioeconomic Modeling

*R. G. Borodin, D. A. Vasilyev, Yu. N. Efimov*

Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO, Moscow)

e-mail: borodin@vniro.ru

General approaches of implementation of bioeconomic modeling for TAC assessment are given. An example of analysis of capelin fishery economic efficiency by means of bioeconomic modeling is presented.

**Key words:** total allowable catch assessment, bioeconomic modeling.