Том XXXVI VI	Труды Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)	1971

УДК 597-152.6

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПОПОЛНЕНИЯ,РОСТА И СМЕРТНОСТИ РЫБ

И.Б.Буханевич

В настоящее время,как известно,возникает настоятельная необходимость в оптимизации режимов рыболовства,которая сводится к нахождению оптимального сочетания интенсивности промысла и размерно-весового состава вылавливаемых рыб [2].

Эту чрезвычайно сложную задачу можно решать на основе применения тех или иных промыслово-биологических моделей: сначала при условии изменения одного из параметров, а потом и при совокупном их действии. Пополнение, рост и смертность рыб зависят от множества факторов, биотических и абиотических. Поэтому и необходимо выделить те факторы, которые надо в первую очередь определять при регулировании рыболовства. К таким факторам,по нашему мнению, относятся интенсивность и селективность промысла, естественная смертность, величина пополнения и рост рыб.

Необходимо анализировать реакцию популяции на изменения, которые происходят в водоеме. В связи с тем, что в водоеме биотические и абиотические факторы тесно переплетаются, следует искать их интегральные характеристики, т.е. определять величины пополнения, роста и смертности рыб.Особенно важно то, что информацию для этих моделей возможно получить уже сегодня. Поэтому для оперативного регулирования рыболовства следует пользоваться простыми рабочими моделями (они экономичны и требуют для сбора информации реальное количество сил и средств), а для научных исследований - большими моделями. Для практического использования большой интерес представляет широко известная простая модель Бевертона и Холта [4].

Приоритет в использовании моделей для анализа динамики численности стада рыб принадлежит Баранову [I].

Всеми исследователями используется аксиома Рассела [3], по которой вес популяции остается постоянным в течение определенного отрезка времени, если прирост веса равен его убыли. Здесь большое значение приобретает рассмотрение популяции в состоянии равновесия, а также возможность применения сформулированной аксиомы для произвольного отрезка времени и для любой части популяции, а не только для всей популяции в целом.

Как уже отмечалось, основными факторами, определяющими равновесие изолированной популяции рыб, являются пополнение, рост, вылов и естественная смертность. Обозначая соответствующие веса через

$$G_R,\ G_W,\ G_C,\ G_M,$$

а общие веса промыслового стада в начале и конце отрезка времени через G_1 и G_2, можно аксиому Рассела записать в виде

$$G_2 = G_1 + G_R + G_W - G_C - G_M. \qquad (I)$$

Перейдем теперь к рассмотрению параметров популяции. Мгновенную относительную убыль численности популяции вследствие естественной смертности, т.е. отношение $\frac{1}{N}\frac{d_M N}{dt}$ назовем коэффициентом естественной смертности M, т.е.

$$\frac{1}{N}\frac{d_M N}{dt} = -M.$$

Тогда

$$\frac{d_M N}{dt} = -MN. \qquad (2)$$

Коэффициент естественной смертности M зависит от возраста рыбы и плотности популяции.

Однако для упрощения модели вероятность гибели рыбы, обусловленной большим числом случайных причин, в интервале(t, $t+\Delta t$) принимается постоянной. Поэтому в формуле (2) значение коэффициента M также принимается постоянным. Тогда теоретически продолжительность жизни поколения равна бесконечности [I, 6].

Такое допущение противоречит предположению о пропорциональности изменения роста рыбы с возрастом. Кроме того, в действительности последний представитель каждого поколения погибает по достижении определенного предельного возраста t_λ, который и целесообразно считать продолжительностью жизни рассматриваемого поколения.

Аналогично введенному ранее коэффициенту естественной смертности, назовем коэффициентом промысловой смертности F мгновенную относительную убыль численности популяции N вследствие вылова:

$$\frac{1}{N}\frac{d_F N}{dt} = -F .$$

Тогда

$$\frac{d_F N}{dt} = -FN . \tag{3}$$

Коэффициент F можно предполагать пропорциональным интенсивности промысла f :

$$F = kf ; \quad k = \text{const} . \tag{4}$$

В постоянном промысловом районе, где рыболовство ведется в соответствии со скоплениями рыб, коэффициент F можно считать пропорциональным промысловому усилию.

Закономерность изменения коэффициента F от возраста будет рассмотрена позднее. Здесь же отметим, что в упрощенных моделях зависимость коэффициента промысловой смертности рыбы от возраста t'_ρ и $[(F(t)t_\lambda \approx 0$ при $0 \leq t \leq t'_\rho)]$ до конца ее жизни t_λ принимается постоянным.

Для определения изменения веса рыбы с возрастом будем пользоваться формулой Берталанфи [5].

$$W_t = W_\infty \left(1 - e^{-k(t - t_0)}\right), \tag{5}$$

где $W_t = 0$ при $t = t_0$, $W_\infty = \text{const}$, $k = \text{const}$,

или

$$W_t = W_\infty \sum_{n=0}^{3} \Omega_n e^{-nk(t - t_0)}, \tag{6}$$

где $\Omega_0 = 1, \Omega_1 = -3, \Omega_2 = 3, \Omega_3 = -1$

Положим, что ежегодно в одно и то же время популяция пополняется постоянным числом рыб R. Под возрастом пополнения будем понимать возраст t_ρ [4], в котором рыба впервые появляется в районе промысла. Объектом промысла рыба обычно становится несколько позже, в возрасте t'_ρ. Число рыб в этом возрасте обозначим через R'.

В интервале времени от t_ρ до t'_ρ численность рассматриваемой возрастной группы уменьшается вследствие естественной смертности. Поэтому, интегрируя уравнение (2), получим численность поколения в возрасте

$$R' = N t'_\rho = R e^{-M(t'_\rho - t_\rho)}. \tag{7}$$

В период времени от t'_ρ до t_λ рыба погибает и от естественных причин, и в результате промысла, т.е. убыль численности поколения в этом возрасте описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{d_{M+F} N}{dt} = -(F+M)N. \tag{8}$$

Интегрируя его, получим численность поколения для любого момента времени t $(t'_\rho \leq t \leq t_\lambda)$:

$$N_{(t)} = R' e^{-(F+M)(t-t_\rho)}. \tag{9}$$

Вес особи W_t любого возраста t определяется формулой Берталанфи [5].

Следовательно, общий вес поколений в возрасте t равен

$$N_t W_t = R' W_\infty e^{-(F+M)(t-t'_\rho)} \sum \Omega_n e^{-nk(t-t_0)}. \tag{10}$$

Для определения годового улова всей популяции введем переменную, обозначающую долю года: $0 \leq \tau \leq 1$. При подсчете возможного годового улова от стабильной популяции предположим, что ежегодно в один и тот же момент времени ($\varphi = 0$) в возрасте t'_ρ объектом промысла становится R' рыб.

В течение первого года в момент времени τ численность поколения составит

$$N^0_\tau = R'_0 e^{-(F+M)\tau},$$

а к концу года $(\varphi = 1)$ –

$$N^0_1 = R' e^{-(F+M)}.$$

В начале второго года к первому поколению присоединится второе R_1', и общая численность популяции в любой момент времени φ в течение второго года будет равна

$$(R_0' e^{-(F+M)} + R_1') e^{-(F+M)\tau} ,$$

в течение третьего года

$$(R_0'' e^{-2(F+M)} + R_1' e^{-(F+M)} + R_2') e^{-(F+M)\tau}$$

и т.д.

Считая предельный возраст рыбы λ целым числом и $R_0' = R_1' = R_2' = \ldots\ldots R'$, получим формулу для определения численности популяции в любой момент времени τ после λ года:

$$N_\tau = R' e^{-(F+M)\tau} \sum_{i=1}^{\lambda} e^{-i(F+M)} .$$

Обозначим годовой улов (в шт.) через y_N. Тогда

$$\frac{dy_N}{d\tau} = F R' e^{-(F+M)\tau} \sum_{i=1}^{\lambda-1} e^{-i(F+M)}$$

и

$$y_N = \frac{FR'}{F+M} \left[1 - e^{-(F+M)\lambda} \right] .$$

Определим теперь величину улова на единицу промыслового усилия – параметр, часто применяемый при изучении промысловой популяции рыб. В первом приближении можно считать коэффициент промысловой смертности пропорциональным общему промысловому усилию g. Тогда

$$F = \frac{Cg}{A_0},$$

где A_0 – площадь промыслового района;

$C = const.$

Величину улова на единицу промыслового усилия можно вычислить по формулам

$$\frac{Y_N}{C_g/A_0} = Y_N\frac{A_0}{C_g} = \frac{Y_N}{F}, \quad \frac{Y_N}{g} = \frac{cY_N}{A_0F}$$

и

$$\frac{Y_N}{g} = \frac{cR'}{A_0(F+M)}\left[1 - e^{-(F+M)\lambda}\right].$$

Для проверки моделей популяции, а также для использования их при регулировании рыболовства, целесообразно вычислить по приведенным ниже формулам среднюю длину и средний возраст рыб в популяции и улове и сравнить полученные величины с оценками по ихтиологическим пробам с применением статистических методов.

Определим сначала среднюю годовую численность популяции.

Между возрастами t_p и t'_p она равна

$$N_{cp.} \int_0^1 N_\tau d_\tau = R \sum_{i=0}^{\varphi-1} e^{-M_i} \int_0^1 e^{-M\tau} d\tau ;$$

$$N_{cp} = \frac{R}{M}\left(1 - e^{-M\varphi}\right) ,$$

а между возрастами t'_p и t_λ, т.е. для промысловой части популяции

$$N_{cp} = R' \sum_{i=0}^{\lambda=1} e^{-(F+M)i} \int_0^1 e^{-(F+M)\tau} d\tau ;$$

$$N_{cp} = \frac{R}{F+M}\left\{1 - e^{-(F+M)\lambda}\right\} .$$

Среднюю длину рыбы в годовом улове можно определить по формуле

$$R_{cp} = \frac{F \int_{t_p}^{t_\lambda} N_t \ell_t dt}{F \int_{t'_p}^{t'_\lambda} N_t dt} .$$

Подставляя значение N_t из (9) и учитывая, что

$$\ell_t = \ell_\infty \left[1 - e^{-k(t-t_0)}\right] ,$$

получим:

$$\ell_{cp.} = \ell_\infty \left\{1 - \frac{(F+M)\left[1 - e^{-(F+M+nk)\lambda}\right]}{(F+M+nk)\left[1 - e^{-(F+M)\lambda}\right]} e^{-k(t'_p - t_0)}\right\} .$$

Аналогично определяется средний возраст рыбы в годовом улове:

$$t_{cp} = \frac{1}{F+M} + \frac{t_p' - t_\lambda e^{-(F+M)\lambda}}{1-e^{-(F+M)\lambda}}$$

Таким образом, для регулирования рыболовства представляются целесообразными соответствующие расчеты по выведенным нами формулам для сравнения получаемых результатов с теми данными, которые в настоящее время собирает ихтиологическая служба. При помощи этих формул возможно оперативное регулирование рыболовства по разработанной нами методике [2].

Литература

I. Баранов Ф.И. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства. Изв. отд.рыболовства и научно-промысловых исследований. Т. I.Вып.2, I9I8.

2. Буханевич И.Б. Построение и использование карт вылова рыбы."Рыбн.хоз-во", I97I, № 5.

3. Рассел Э.С. Проблемы перелова рыбы. М., Пищепромиздат, I948.

4. Beverton R., Holt S. On the dynamics of exploited fish populations. London, 1957.

5. Berralanffy,L. Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums. 1. Teil.Allgemeine Grundlagen der Theorie; mathematische und physiologische Gesetzlichkeiten des Wachstums bei Wassertieren. Archiv. f.Entwicklungsmech., 1934.

6. Ricker W. Handbook of computation for biological statistics. 1958.

On the interaction of recruitment, growth and mortality in fish

I.B.Bukhanevich

Summary

Simple working models should be used to regulate efficiently the fisheries since they are economical and require reasonable efforts and means to collect information needed. The well-known model suggested by Beverton and Holt is an example of such an approach.

The modification of the model presented is aimed at promoting calculations required for more efficient regulation of the fisheries.