

УДК 639.223

## ОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАПАДНОКАМЧАТСКОГО МИНТАЯ

В. П. Максименко, Н. П. Сергеева

Проблемы, связанные с использованием ресурсов минтая, стали особенно актуальными в последние годы, так как его доля в отечественном вылове рыбы непрерывно возрастает. Возникла необходимость оценить степень влияния рыболовства на различные стада минтая и выявить возможные способы их дальнейшей эксплуатации. Одним из важнейших в промысловом отношении является восточноохотское (западнокамчатское) стадо.

Запасы минтая восточной части Охотского моря интенсивно эксплуатируют несколько стран. Промысел ведется зимой и весной (облавливаются преднерестовые и нерестовые скопления) вдоль склонов континентального шельфа на глубинах 100—250 м. Его интенсивность в последние годы резко увеличилась, возникло предположение о том, что эксплуатация стада ведется нерационально [3]. При рассмотрении этого вопроса с позиции теории рыболовства была использована достаточно гибкая модель, разработанная Р. Бивертоном и С. Холтом [2]. Естественно, что все полученные результаты справедливы лишь в рамках тех предположений, которые положены в основу модели, основные из которых следующие: постоянство параметров роста; естественная смертность ( $M$ ) не зависит от возраста рыб; пополнение ( $R$ ) неизменно из года в год. Справедливость этих допущений по отношению к стаду восточноохотского минтая может вызвать сомнения. Однако поскольку этот вопрос не изучен, будем считать, что на протяжении некоторого периода стадо минтая находится в сравнительно устойчивом состоянии, и используем основное уравнение Бивертона—Холта для уловов на единицу пополнения [2].

При вычислениях мы ограничились измерениями возраста, массы и длины рыб, проводимые Камчатским отделением ТИНРО. Принята следующая расчетная схема модели.

1. Определение коэффициентов  $a$  и  $b$  уравнения

$$W = at^b,$$

где  $w$  и  $l$  — масса и длина рыбы соответственно.

2. Определение возраста  $t_p$ , в котором особи впервые попадают в район промысла, возраста  $t_p$ , когда они становятся объектом промысла, и  $t_\lambda$  — предельного возраста рыб.

3. Оценка параметров уравнения роста Бергаланфи  $L_\infty$ ,  $W_\infty$ ,  $K$ ,  $t_0$ .

4. Определение коэффициентов мгновенных общей и естественной смертностей.

5. Реализация основного уравнения улова на единицу пополнения

$$\frac{Y_w}{R} = WF_\infty e^{-M(t'_p - t_p)} \sum_{n=0}^{n=3} \frac{\Omega_n e^{-nk(t'_p - t_0)}}{F + M + nk} (1 - e^{-(F+M+nk)(t_\lambda - t'_p)}),$$

где  $\Omega_0 = 1$ ;  $\Omega_1 = -3$ ;  $\Omega_2 = 3$ ;  $\Omega_3 = -1$ .

6. Построение изоплетной диаграммы возможных уловов и кривых эвметрического промысла.

Расчеты на электронной вычислительной машине «Наири-К» дали следующие результаты.

1. В предположении постоянства из года в год параметров  $q$  и  $b$  связи между массой и длиной рыб рассчитаны средние масса и длина в возрастных группах по пробам из уловов за период 1971—1974 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Параметры	Рост, годы						
	2	3	4	5	6	7	8
Средняя масса, г	170	252	306	382	493	653	889
Квадратичное отклонение	43	49	60	82	132	163	296
Средняя длина, см	27,5	32,5	35,5	38,0	41,0	46,0	50,5
Квадратичное отклонение	2,0	2,3	2,4	2,9	3,1	3,5	3,9
Теоретическая длина (по Берталанфи), см	25,6	31,3	36,2	40,2	43,7	46,5	48,8

Из этих данных методом наименьших квадратов получена зависимость

$$W = 0,009l^{2,92}.$$

Для параметра  $b$  рассчитаны ошибки с доверительной вероятностью  $\beta = 0,95$ . Этот расчет проведен, чтобы выяснить возможности использования основного уравнения Бивертон — Холта, выведенного для  $b = 3$ . Полученный результат  $b = 2,92 \pm 0,18$  подтверждает это.

2. Из анализа размерного и возрастного состава уловов следует, что рыбы длиной более 35 см (что соответствует четырехлетнему возрасту) подвержены воздействию промысла. Таким образом,  $t_p = 4$ . Из тех же соображений принято:  $t_p = 2$ ,  $t_h = 14$ .

3. По данным табл. 1 методом наименьших квадратов рассчитаны параметры уравнения роста Берталанфи  $l_t = L_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})$  и  $W_t = W_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})^3$ , предполагая, что они не изменяются от года к году:  $t_0 = -1,0$ ;  $k = 0,18$ ;  $L_\infty = 61,0$ ;  $W_\infty = 1532$  г. Наблюдаемые средние длины и рассчитанные с использованием полученных значений  $t_0$ ,  $L_\infty$  и  $k$  приведены в табл. 1.

4. Для оценки коэффициента мгновенной общей смертности ( $Z$ ) мы использовали так называемый «интегральный» метод [1]:

$$Z = \frac{k(L_\infty - \bar{l})}{\bar{l} - l'}$$

где  $l'$  — наименьшая длина рыбы, которая полностью представлена в пробах (в нашем случае  $l' = 35,5$  см — средняя длина четырехгодовиков);

$\bar{l}$  — средняя длина, вычисленная для размеров  $l'$  и больше.

Выбор этого метода обусловлен недостаточной точностью статистики уловов по возрастным группам на единицу рыболовного усилия, с одной стороны, и полным отсутствием данных об иностранном промысле (за исключением общего японского вылова до 1973 г.) — с другой. В то же время биологические параметры, входящие в формулу для определения  $Z$  «интегральным» методом, должны отразить общее промысловое воздействие на стадо.

Особенно сложно определять естественную смертность. Экстраполяция соотношения общей смертности и промысловых усилий с применением линейного регрессионного анализа дает отрицательные значения  $M$ , так как, во-первых, нет данных об иностранном промысловом усилии; а, во-вторых, возможна гетерогенность популяции минтая в этом районе, что требует дополнительных биологических исследований. В связи с этим была использована номограмма П. В. Тюрина [4] для определения естественной смертности по предельному возрасту рыбы, которая для восточноохотского минтая дает значение  $M = 0,2$ . Это — приближенная оценка естественной смертности в силу свойств метода ее определения. Из результатов расчетов  $Z$ , а также коэффициента промысловой смертности  $F$  (по соотношению  $Z = F + M$ ) и общей годичной убыли стада ( $u$ ) от естественных причин и промысла ( $u = 1 - e^{-Z}$ ), отраженных в табл. 2, видно, что промысловое воздействие на стадо в последние годы резко усилилось.

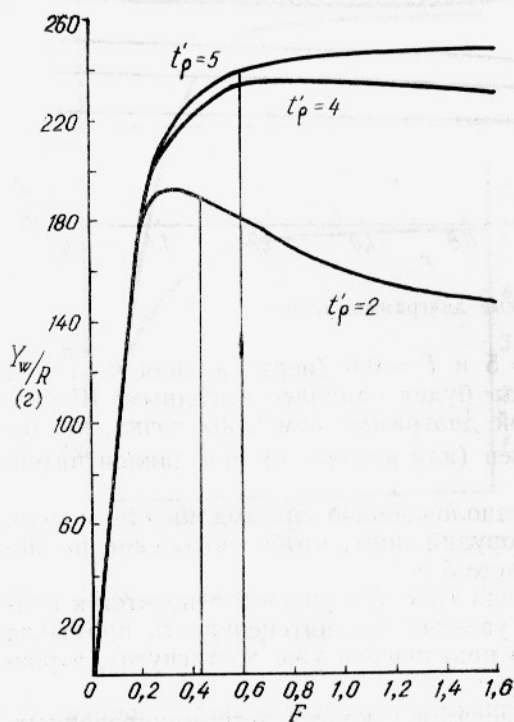


Рис. 1. Зависимость улова на единицу пополнения от промысловой смертности при разных значениях  $t'_p$

Таблица 2

Год	Средняя длина для $l > l'$	$Z$	Убыль, %	$F$
1963	45,6	0,29	25	0,09
1964	43,6	0,41	34	0,21
1965	44,7	0,34	29	0,14
1966	43,9	0,39	32	0,19
1967	45,1	0,31	27	0,11
1968	44,7	0,34	29	0,14
1969	42,5	0,51	40	0,31
1970	43,5	0,42	34	0,22
1971	42,3	0,53	41	0,33
1972	43,1	0,45	36	0,25
1973	40,4	0,84	57	0,64
1974	41,1	0,70	50	0,50
1975	41,1	0,70	50	0,50

5—6. С целью построения изоплетных диаграмм и кривых эвметрического промысла основное уравнение Бивертон — Холта для возможного улова ( $Y_w$ ) на единицу пополнения в весовом выражении реализовалось для многовариантных комбинаций  $t'_p$  и  $F$ :  $2 \geq t'_p \geq 9$ ;  $0 \geq F \geq 1,6$ . На рис. 1 приведена кривая показателя возможного улова для  $t'_p = 4$ . В действительности из-за нежесткой селективности тралирующих орудий лова пополнение вступает в промысел постепенно, начиная с возраста 2 года. На этом же рисунке изображена кривая для  $t'_p = 2$  года, а реальная кривая, очевидно, расположена между ними. Вертикальной чертой  $F = 0,43$  отмечено среднее значение коэффициента

промысловой смертности за период 1971—1974 гг., когда в особенности возросло промысловое воздействие на стадо.

На изоплетной диаграмме (рис. 2) достаточно отчетливо выявляется наиболее выгодный размер ячеи ( $t'_p = 5$ ; соответствующая кривая возможного улова приведена также на рис. 1). Поскольку в заштрихованной области не выявляется следующая изолиния при шаге дискретиза-

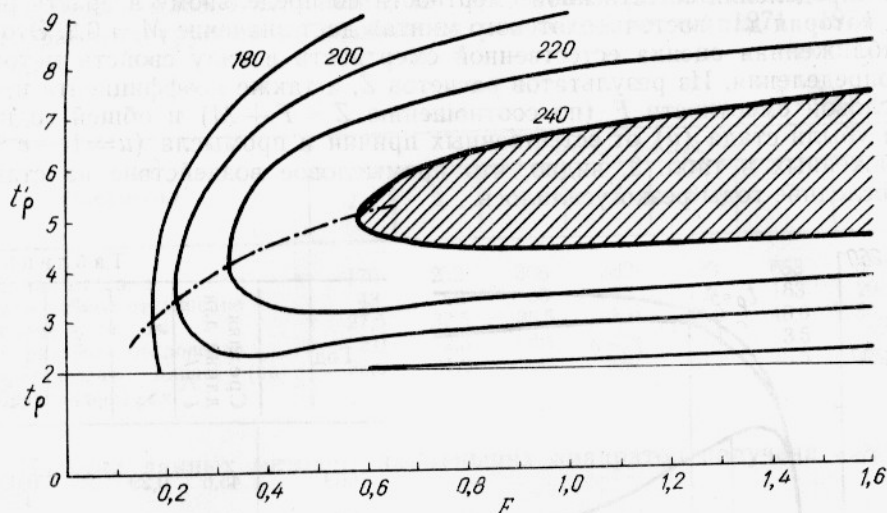


Рис. 2. Изоплетные диаграммы уловов

ции в 20 г на рекрута при  $t'_p = 5$  и  $F = 0,6$  (вертикальная черта на рис. 1) режим эксплуатации стада будет наиболее выгодным. Штрихпунктирной линией на изоплетной диаграмме отмечены точки, указывающие оптимальный размер ячеи (или возраст  $t'_p$ ) при данной интенсивности промысла.

В рамках принятых ранее предположений о справедливости модели выгодно увеличить размер ячеи орудий лова, чтобы поколение полностью вступало в промысел в возрасте 5 лет.

Кривые эвметрического промысла (рис. 3; кривая 2 относится к правой шкале), говорят о том, что увеличивать интенсивность промысла выгодно до значений  $F = 0,6$  (что практически уже достигнуто), а размер ячеи орудий лова — до  $t'_p = 5$ .

Модель Бивертон — Холта относится к классу детерминированных. Однако это не исключает возможностей анализа уравнения уловов на вариабельность различных параметров. Как уже говорилось, возраст, в котором минтай полностью вступает в промысел, в действительности имеет некоторое распределение вероятностей по возрастам. Можно предположить это распределение нормальным, из анализа возрастного состава получить его характеристики (дисперсию и среднее значение) и кривую улова, которую затем сравнить с кривой для точного значения  $t'_p$ . Анализ такого рода имеет смысл, так как разброс значений параметров системы приводит к рассеиванию результатов ее функционирования.

Чтобы упростить расчеты, мы предположили дискретное распределение вероятностей для  $t'_p$  и рассмотрели два случая с различной дисперсией (при среднем значении  $t'_p = 5$ ):

1)	$t'_p$	4	5	6
	вероятность	1/6	2/3	1/6

2)	$t'_p$	3	4	5	6	7
	вероятность	0,1	0,2	0,4	0,2	0,1

Для традиционных расчетов распределение вероятностей, очевидно, имеет вид

3)	$t'_p$	3	4	5	6	7
	вероятность	0	0	1	0	0

Из табл. 3, в которой приведена зависимость возможного улова от коэффициента промысловой смертности для этих трех случаев, следует,

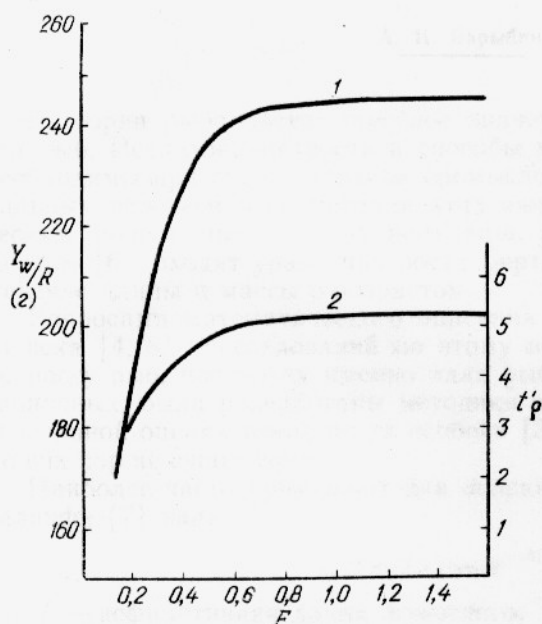


Таблица 3

$F$	$\left(\frac{Y_w}{R}\right)_1$	$\left(\frac{Y_w}{R}\right)_2$	$\left(\frac{Y_w}{R}\right)_3$
0,1	125	123	125
0,2	190	180	184
0,3	216	207	213
0,4	218	224	229
0,5	235	229	236
0,6	239	234	241
0,7	242	237	244
0,8	245	238	246
0,9	245	239	247
1,0	245	240	247
1,1	245	239	247
1,2	246	239	248
1,3	247	239	248
1,4	247	239	248
1,5	246	239	248
1,6	246	239	248

Рис. 3. Кривые эвметрического промысла  $\frac{Y_w}{R}(F)$  (1) и  $t'_p(F)$  (2)

что разброс  $t'_p$  по возрастам незначительно влияет на среднее значение  $Y_w/R$ , а также на выводы об оптимальном режиме рыболовства, полученные из анализа изоплетной диаграммы. Однако это не означает, что для рыб других видов или других стад мнятая разброс значений  $t'_p$  не окажет значительного влияния. Кроме того, истинное распределение вероятностей может иметь несимметричный характер. Для определения оптимального режима эксплуатации необходим анализ различных параметров, входящих в уравнение улова.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бивертон Р. Дж. Х. и Холт С. Дж. Обзор методов определения смертности облавливаемых популяций рыбы. Источники возникновения ошибок при взятии проб из уловов. М., ВНИРО, 1958, 56 с.
2. Бивертон Р., Холт С. Динамика численности промысловых рыб. Изд-во «Пищевая пром-сть», 1969, 315 с.
3. Пушников В. В. Распределение и промысел мнятая у берегов Западной Камчатки. Изв. ТИНРО, 1973, т. 91, с. 81—83.
4. Тюрин П. В. Фактор естественной смертности рыб и его значение при регулировании рыболовства. «Вопросы ихтиологии», 1962, т. 2, вып. 3 (24), с. 403—427.

SUMMARY

In view of the recent increase in the catches of walleye pollock it is necessary to study the state of their stock and to determine an optimum exploitation rate. The analysis is made within the framework of the Beverton—Holt model on data obtained off West Kamchatka. Isopleth diagrams of possible catches and curves of the eumetric fishery are developed. The coefficient of instantaneous natural mortality is estimated to be 0.2. The most profitable exploitation rate corresponds to the case when the age-at-entry  $t_p' = 5$  and the coefficient of instantaneous fishing mortality  $F = 0.6$ .

