

УДК 639.223.2+639.2.053.8+639.2.031.5(261.26)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОПУЛЯЦИИ ПИКШИ СЕВЕРНОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ПРОДУКЦИОННОЙ МОДЕЛИ

В. В. Шевченко

Получение максимального количества ихтиомассы при одновременном сохранении воспроизводительной способности популяции — основная задача при ведении рационального промысла рыб.

Переменная величина, имеющая тенденцию к увеличению, это вылов, т. е. произведение числа рыб, изымаемых промыслом, на их среднюю массу (запас — общее количество биомассы, накопленное популяцией на данный момент, а продуктивность — скорость прироста массы, т. е. скорость создания органического вещества популяцией). Необходимо определить, нужно ли планировать промысел так, чтобы получить максимум живого вещества от эксплуатируемой популяции, или только свести к минимуму потери, обусловленные естественной смертностью. Для разных ситуаций можно предложить различные решения. Трудность их сравнения требует моделирования важнейших элементов продукционных процессов с помощью ЭВМ.

Наиболее результативны модели, основанные на определении численности популяции с помощью виртуально-популяционного анализа (ВПА) и количественной оценки потребления и распределения ассимилированной популяцией энергии в виде пищи.

Моделью выбрана популяция пикши Северного моря, занимающей видное место в отечественном и европейском рыболовстве; кроме того, методики сбора и обработки многолетних биологических данных по пикше унифицированы, а некоторые стороны ее обмена изучены относительно полно (Thompson, 1926; Steele, 1965; Jones and Hislop, 1974). На основе учета разового наполнения желудочно-кишечного тракта, скорости переваривания (Jones, 1974) и величины суточных рационов, а также данных респирометрических экспериментов с учетом активного обмена рыб (Tytler, 1969) нами расчислены годовые балансы вещества и энергии (в кал и в г сырого вещества) для возрастных групп пикши и соотношение отдельных форм обмена (табл. 1).

При анализе затрат на прирост, энергетический и генеративный обмен обнаруживаются значительные различия у последовательных возрастных групп пикши. Так, например, величина использования ассимилированного вещества на рост составила около 18% у двухлетков и трехлетков, постепенно снижаясь до 6% у шестигодовиков. В то же время затраты на энергетический обмен у старших рыб составили около 87,5%, у молодых — всего 81,2%. Обратная зависимость прослеживается при сравнении затрат на генеративный обмен.

Жизненный цикл североморской пикши короче, чем у рыб других популяций этого вида (рис. 1). Значения коэффициентов K в уравнении-

Средние годовые балансы вещества у возрастных групп пикши Северного моря (в г сырого вещества)

Показатели	Возраст, годы					
	0,75	1,75	2,75	3,75	4,75	5,75
Масса, г	38	113	310	506	673	792
Прирост за год, г	75	197	196	167	119	
Траты на обмен за год *	360	840	1260	1560	1755	
	(81,2)	(81,2)	(81,8)	(84,7)	(87,5)	
Генеративный обмен *	—	—	85	113	132	
			(5,5)	(6,2)	(6,5)	
Сумма ассимилированного за год вещества, г	435	1037	1541	1840	2006	
Валовый рацион, г	544	1296	1926	2300	2508	
K_1 } в %	13,8	15,2	10,1	7,0	4,7	
K_2 }	17,2	18,9	12,7	8,9	5,9	
Кормовой коэффициент	7,2	6,5	9,9	14,3	21,2	

* Числитель — в г, знаменатель — в %.

ях линейного роста пикши, высокие в послевоенный период*, как известно, характеризуют общий уровень обменных процессов в популяции, и в значительной степени зависят от среды обитания рыб.

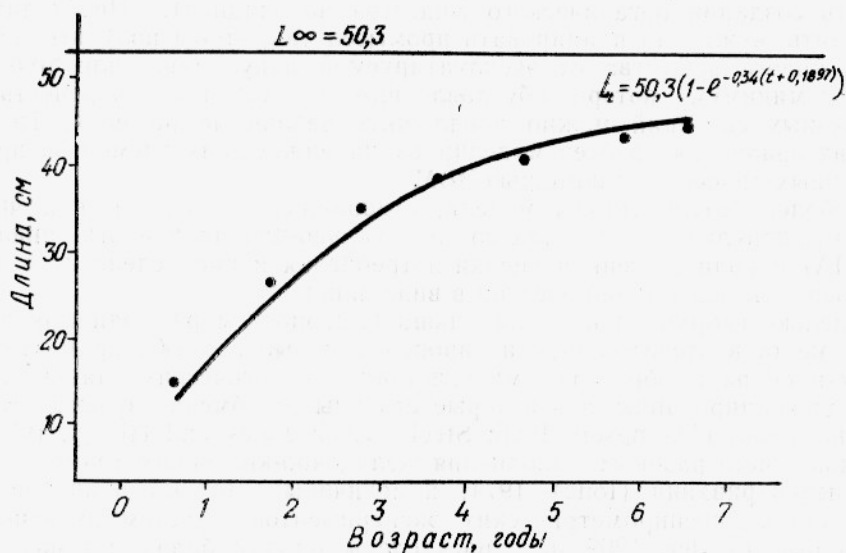


Рис. 1. Рост североморской пикши в 1967—1971 гг., рассчитанный по формуле Бергаланфи.

Используя количественные оценки потребления и распределения отдельными возрастными группами сырого вещества и абсолютную численность рыб, установленную на основе ВПА (Шевченко, 1974) (табл. 2) попытаемся подойти непосредственно к стратегии промысла. В популяции резко выражены флюктуации численности отдельных поколений, что

* Популяционный рост пикши за 1922—1937 гг. (Beverton, Holt, 1957) описан уравнением: $L_t = 49,4(1 - e^{0,20t})$, а за 1945—1950 гг. (Parrish, Jones, 1953) уравнением: $L_t = 49,4(1 - e^{0,38t})$.

особенно проявляется на численности рекрутов в отдельные годы. Усредненные значения численности последовательных возрастных групп за 15 лет промысла дают представление о характере убыли особей за счет промысла и естественных причин. При этом расчисленные средние значения промысловой смертности (F) за этот период составляют 1, коэффициент естественной смертности (M) — 0,2, а среднее значение общей смертности (Z) — 1,2*.

Таблица 2
Численность промысловой части популяции пикши Северного моря в 1957—1971 гг.

Годы промысла	Возраст, годы							Общая
	2	3	4	5	6	7	8	
1957	491,5	296,2	97,8	39,1	8,5	0,8	0,4	934,3
1958	75,5	322,7	149,6	32,5	10,5	3,0	0,2	594,0
1959	48,4	51,8	193,0	37,1	10,5	3,6	0,1	344,5
1960	310,1	31,9	32,4	66,7	11,6	2,6	0,8	456,1
1961	140,3	182,6	13,9	19,3	19,0	+	+	375,1
1962	104,3	92,0	47,8	5,9	10,0	0,2	+	260,2
1963	387,6	56,9	31,5	7,5	4,0	2,9	+	490,4
1964	3096,4	225,0	40,1	19,3	5,0	2,5	0,8	3389,1
1965	22,2	2031,6	51,5	3,9	1,4	0,7	+	2065,4
1966	26,7	14,0	1157,3	26,8	+	+	+	1225,5
1967	239,2	20,0	9,7	488,8	18,7	0,1	+	776,5
1968	569,2	142,8	13,8	6,8	127,3	11,7	+	872,3
1969	5349,5	292,8	42,5	11,1	5,3	31,2	9,6	5742,0
1970	412,1	2327,6	119,1	4,0	2,0	2,0	4,4	2871,2
1971	131,5	265,1	519,8	61,3	+	+	+	977,9
Средняя	760,3	423,5	170,2	55,3	15,6	4,1	1,1	1425,0

При каких же параметрах эксплуатации, этого «условно-среднего поколения» возможно получение максимальной продукции? На рис. 2

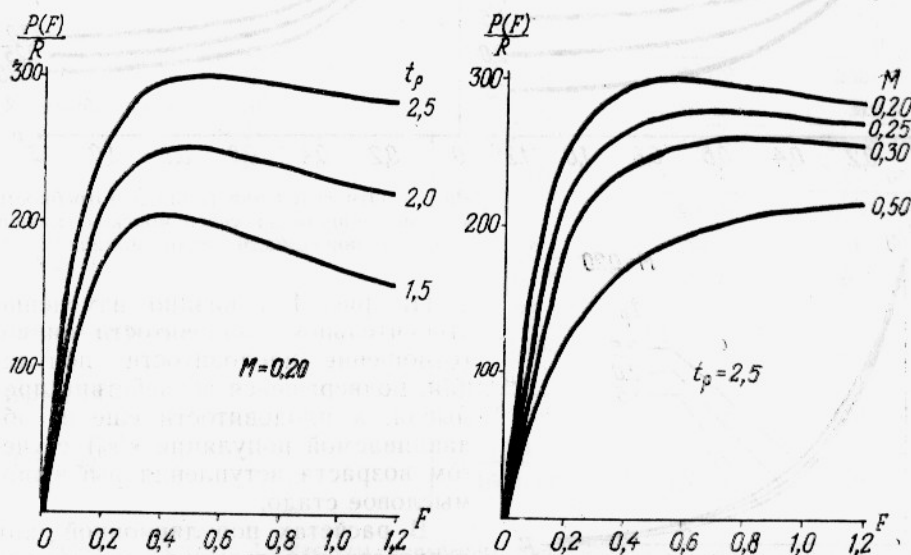


Рис. 2. Продуктивность популяции североморской пикши в расчете на одного рекрута.

приведены расчетные значения урожая популяции или вылова на единицу пополнения с учетом роста рыб и характера смертности. Общий вид

* Обозначения заимствованы из работы Дана (Daan, 1975).

изменения вылова в расчете на рекрута относительно промысловой смертности и возраста рыб, вступающих в промысловое стадо, аналогичен кривым, полученным Бивертоном и Холтом для рыб других видов. Максимум продукции возрастает с увеличением возраста вступления рыб в промысловое стадо и соответственно с уменьшением коэффициентов естественной смертности.

Для выбранных значений параметров t_p^* и M максимума вылова ликши (в расчете на рекрута) достигает при следующих значениях F : при $M=0,20$ $F=0,35 \div 0,65$ и при $M=0,30$ соответственно $F=0,50 \div 0,85$. С ростом M диапазон значений коэффициентов промысловой смертности растет, а так как расчеты проведены для одних и тех же значений t_p , то и максимумы продуктивности сдвигаются в сторону больших значений F . Максимум вылова (в расчете на рекрута) колеблется от 160 до 380 г.

Проследим, как будет меняться при этом величина потреблений пищи (Φ) на рекрута (рис. 3) при различных параметрах t_p и M . С увеличением возраста вступления пополнения в промысловое стадо (t_p) рацион популяции меньше отличается от рациона девственной популяции, т. е. на единицу прироста биомассы тратится больше пищи. Влияние коэффициентов естественной смертности не столь значительно хотя и достаточно заметно.

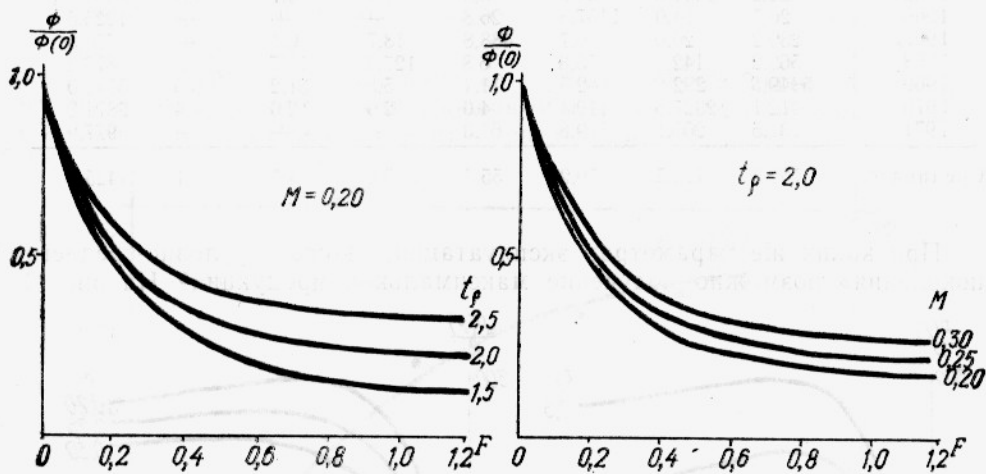


Рис. 3. Относительная годовая потребность в пище популяции североморской ликши в зависимости от промысла.

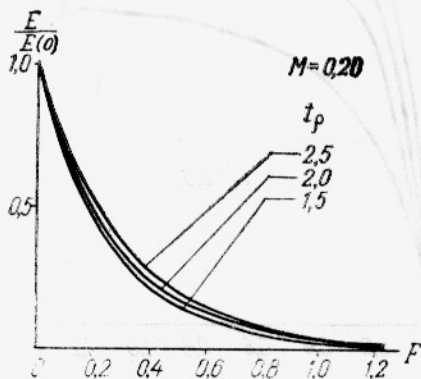


Рис. 4. Процентное изменение популяционной плодовитости в зависимости от промысловой смертности.

На рис. 4 показано изменение относительной плодовитости ликши (отношение плодовитости популяции, подвергшейся воздействию промысла, к плодовитости еще не облавливаемой популяции e/e_0) с учетом возраста вступления рыб в промысловое стадо.

В расчетах популяционной плодовитости использована полученная нами кривая изменения процентного соотношения самок в популяции в зависимости от длины тела и массы рыб. Минимальные раз-

* t_p — возраст в начале облова (Daan, 1975).

меры рыб из траловых уловов 26 см. Отсюда, используя формулу соотношения плодовитости и массы рыб и учитывая уменьшение количества самцов в процессе роста, нам удалось выявить общий характер изменения плодовитости в зависимости от промысловой и естественной смертности.

Ход кривых для $t_p=1,5$ и $t_p=2,0$ оказался близким; это в общем подтверждает то, что к двум годам пикша не достигает массовой зрелости, тогда как кривая E/E_0 для $t_p=2,5$ говорит об увеличении к 2,5 годам процента половозрелых особей. Эти выводы можно сделать еще и потому, что в исходной формуле учитывается зависимость плодовитости от массы рыб, а также роль каждого возрастного класса в формировании общего потенциала воспроизводства. Увеличение возраста рыб, пополняющих промысловое стадо, по-видимому, повлечет за собой резкое увеличение количества выметанных половых продуктов при одних и тех же значениях промысловой смертности.

Таблица 3

Экологические характеристики пикши Северного моря

Показатели	Условный возраст вступления рыбы в промысловое стадо (t_p)		
	1,5	2,0	2,5
Потребление пищи Φ , $\frac{z}{T}$	2,016	3,272	5,195
	$1532 \cdot 10^3$	$2487 \cdot 10^3$	$3940 \cdot 10^3$
Калорийность Φ (1,07 ккал/г)	2,157	3,501	5,559
	$1639 \cdot 10^6$	$2660 \cdot 10^6$	$4424 \cdot 10^6$
Продукция прироста ΔW , $\frac{z}{T}$	198	256	340
	$151 \cdot 10^3$	$195 \cdot 10^3$	$258 \cdot 10^3$
Калорийность продукции ΔW (0,92 ккал/г)	182,1	235,5	312,8
	$138 \cdot 10^6$	$178,9 \cdot 10^6$	$237,8 \cdot 10^6$
	$5,1 \cdot 10^3$	$6,7 \cdot 10^3$	$75 \cdot 10^3$
	$3786 \cdot 10^9$	$5092 \cdot 10^9$	$5700 \cdot 10^9$
Калорийность икры (0,4252 ккал/икринку)	2169	2847	323,0
	$159 \cdot 10^6$	$213 \cdot 10^6$	$245 \cdot 10^6$
Урожайность v , $\frac{z}{T}$	173	232	292
	131,480	176,320	221,920
Биомасса B , $\frac{z}{T}$	994	1185	1354
	$755 \cdot 10^3$	$900 \cdot 10^3$	$1100 \cdot 10^3$
Численность рыб	2,1	1,9	1,6
	$1600 \cdot 10^6$	$1420 \cdot 10^6$	$1193 \cdot 10^6$

Примечания: 1. Расчеты приведены для среднего уровня пополнения ($R = 760 \cdot 10^6$ шт.), при уровне смертности ($Z=1,2$); $E=1,0$; $M=0,2$.

2. В дробях: числитель — на рекрута, знаменатель — на популяцию.

При сложившемся в последние годы уровне эксплуатации пикши (Z), при коэффициенте естественной смертности $M=0,20$ и $t_p=2,0$ потребление пищи на одного рекрута составило за среднюю продолжительность

жизни 3272 г. При максимальном за последние 50 лет пополнении пикши (1967 г.) общее потребление пищи ее популяцией составило не (менее 9,8 млн. т. что говорят о довольно больших пищевых ресурсах, потенциально доступных популяции. Численность популяции составляла не менее 5,6 млрд. особей; при средней численности популяции в 1425 млн. особей потребление пищи не превышало 2,5 млн. т.

С увеличением минимального возраста вступления рыб в промысловое стадо до 2,5 лет потребление пищи возрастает при одновременном снижении относительного прироста биомассы популяции. Следовательно, не существует однозначного решения как в отношении получения максимальной продукции, так и в отношении оптимального использования кормовой базы; это относится и к изменению потенциала воспроизводства.

Таким образом, увеличение возраста рекрутов позволяет в известной мере увеличить объем изымаемой ихтиомассы. Потенциал воспроизводства при этом также увеличится. Однако экологическая эффективность популяции пикши (величина потребления корма на единицу прироста биомассы в экосистеме) снизится. Следует также иметь в виду характер пищевой конкуренции между отдельными промысловыми видами в пределах самой экосистемы.

ВЫВОДЫ

1. В популяции пикши Северного моря в послевоенные годы увеличился темп роста длины и массы особей, а также скорость полового созревания (пикша в среднем стала созревать на год раньше), при этом резко возрасла плодовитость одновозрастных групп самок. Появились чрезвычайно урожайные поколения. Таким образом, возросла экологическая эффективность популяции в рамках всей экосистемы Северного моря.

Из анализа кривых показателей продуктивности в расчете на рекрута следует, что максимальный урожай мог бы быть получен при меньших значениях промысловой смертности благодаря увеличению возраста рекрутирования. Величина естественной смертности влияет на выход продукции в расчете на рекрута, однако именно возраст вступления рыб в промысловое стадо более всего сказывается на эффективности прироста рыб. Учитывая огромные флуктуации численности популяции данного вида и широкий спектр использования пищевых организмов такой подход оправдан. Это подтверждается незначительностью депрессии роста пикши Северного моря в годы вступления в промысел экстремально урожайных поколений.

2. Величина потребленной пищи резко меняется в зависимости от промысловой смертности, особенно увеличивается темп уменьшения ихтиомассы с увеличением F . Еще более высокими темпами снижается потенциал воспроизводства.

3. Возможна экстраполяция существующих значений показателей продуктивности на необлавливаемые популяции или на более высокие значения промысловой смертности. Отдавая себе отчет в том, что именно условия воспроизводства определяют тип динамики численности и биомассы пикши, что само по себе является крупнейшей проблемой для исследователей, мы твердо убеждены также в том, что лишь одно определение запасов не может решить проблему, рационального рыболовства. В настоящее время необходима оптимальная эксплуатация отдельных экосистем, что особенно актуально для внутренних водоемов нашей страны, а также для таких традиционных районов промысла, как Северное и Балтийское моря.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Шевченко В. В., Полонский А. С., Шатуновский М. П. Биопродуктивные особенности популяции пикши Северного моря. М., ОНТИ ВНИРО, 1974, 80 с.
- Blacker, I. Synopsis of biological data on haddock, *Melanogrammus aeglefinus* (L.) FAO, Rome, 1971, 1—30.
- Daan, N. Consumption and production in North Sea cod, *Gadus morhua*: an assessment of the ecological status of the stock. Netherlands J. of Sea Res. 9(1), 1975, 24—55.
- Jones, R. The rate of elimination of food from the stomachs of haddock, *Melanogrammus aeglefinus*, cod *Gadus morhua* and whiting, *Merlangius merlangus*. J. Cons. Explor. Mer. 35(3): 225—243, 1974.
- Jones, R. J., R. G. Hislop. Investigation into the growth of haddock, *Melanogrammus aeglefinus* (L.) and whiting *Merlangius merlangus* (L.) in aquaria. J. Cons. Explor. Mer. 34, No. 2, 1972, 174—189.
- Steele, I. N. Some problems in the study of marine resources. ICNAF. Spec. Publ. vol. 6, 1965, pp. 463—476.
- Thompson, H. Haddock biology-III. Metabolism of haddock in the aquarium. Fish. Scotland Sci. Investig. vol. 2, 1926, pp. 14—16.
- Tytler, P. P. Relation between oxygen consumption and swimming speed in the haddock, *Melanogrammus aeglefinus*. Nature, 221, 1969, pp. 274—5.

Investigations of the exploitation rate of the population of haddock [from the North Sea on the basis of a production model

V. V. Shevchenko

SUMMARY

The estimation of optimum fishing mortality of haddock from the North Sea is made on the basis of experimental observations on the usage of accumulated food energy for growth, standard and generative metabolism by various age groups of haddock and assessment of their absolute abundance. It is shown that productivity varies from 140 to 300 g per recruit with respect to the age of fish entering the fishing stock, natural and fishing mortality. The rise in the optimum fishing age of haddock from 2 to 2.5 years increases production by 30% per recruit. The reduction in natural mortality from 0.30 to 0.20 increases production by 15% only.