

ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ ОЗЕРНОВСКОЙ КРАСНОЙ НА ОСНОВЕ КИБЕРНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭТОГО СТАДА

В. В. Меншуткин

Красная, или нерка (*Oncorhynchus nerka* Walb.), — ценная промысловая рыба Дальнего Востока. Самым крупным на западном побережье Камчатки может быть признано стадо р. Озерной, — так называемая озерновская красная, нерест которой, а также первые годы жизни молоди до ската в море происходят в оз. Курильском.

Стадо озерновской красной довольно хорошо изучено. Биологические особенности и закономерности динамики его численности изложены Ф. В. Крогиус и др. (1937), Е. М. Крохиным (1958, 1959), Ф. В. Крогиус (1961а, 1961б), Р. С. Семко (1961), Т. В. Егоровой и др. (1961; 1964).

Изучение динамики численности и особенно прогнозирование и выбор оптимальных режимов эксплуатации стада озерновской красной очень актуальны не только из-за величины его, но и в связи с деятельностью Советско-Японской комиссии по рыболовству в северо-западной части Тихого океана (Моисеев, 1964).

Существует статистический метод прогнозирования динамики численности промысловых рыб, рассматривающий популяцию промысловой рыбы как систему, недоступную для наблюдения, для которой известны только ряды состояний входов и выходов (под входами естественно понимать внешние воздействия на популяцию — характеристики промысла, влияние природных условий и т. п., а под выходом — вылов). В таком случае проблема прогнозирования сведется к изучению «черного ящика» (Эшби, 1959) или «макроподходу» к интересующей нас системе (Ляпунов и Яблонский, 1963). Правда, этот метод неоднократно подвергался критике (Никольский, 1953). Необходимо отметить, что методы исследования систем типа «черного ящика» непрерывно совершенствуются (Глушксов, 1962; Пугачев, 1957), поэтому не исключена возможность возрождения статистического метода, использующего современные достижения кибернетики и математики.

Методика прогнозирования динамики численности промысловых рыб по Г. Н. Монастырскому (1952) и Т. Ф. Дементьевой (1953) основана на всестороннем изучении биологии промысловой рыбы, структуры ее популяции и влияния параметров внешней среды на биологические процессы, определяющие динамику численности стада. С точки зрения кибернетики этот метод соответствует «микроподходу» к изучению системы (по терминологии А. А. Ляпунова и С. В. Яблонского, 1963). Методика прогноза стада озерновской красной Ф. В. Крогиус и Т. В. Егоровой является разновидностью упоминаемого выше метода.

При построении схемы прогноза динамики численности стада промысловой рыбы было бы неразумным пренебрегать многочисленными факторами и зависимостями по биологии этой рыбы и взаимодействию ее с окружающей средой, однако, как правило, эти данные довольно разрозненны и отрывочны, поэтому использовать их при количественных расчетах по прогнозированию очень трудно. Целесообразно обобщить и сконцентрировать сведения по исследуемому стаду рыб в виде модели, как в методе Г. Н. Монастырского и Т. Ф. Дементьевой.

Методы моделирования популяций промысловых рыб довольно систематизированы и обобщены (Меншуткин, 1964а), кроме того, имеются примеры выполненных моделей, реализованных на электронных вычислительных машинах (Larkin and Hourston, 1964; Меншуткин, 1964б, 1964в)

В настоящей статье сделана попытка количественного подхода к задаче прогноза динамики численности озерновского стада красной на основе кибернетической модели этого стада. Как будет видно, она является развитием идей Г. Н. Монастырского и Т. Ф. Дементьевой с использованием современного аппарата кибернетики и вычислительной техники на основе фактического материала и исследований, проведенных сотрудниками Камчатского отделения ТИНРО.

Вначале необходимо кратко описать модель популяции озерновской красной.

Рассмотрим укрупненную блок-схему стада озерновской красной (рис. 1), соответствующую «макроподходу» к поставленной задаче. Выделим входы и выходы изучаемой системы и условно разделим входы на управляемые и неуправляемые. К неуправляемым входам отнесем условия нереста и выживания молоди красной в озере, условия ската ее в море и естественную смертность красной в море, а к управляемым — интенсивность и селективность морского промысла, а также интенсивность прибрежного промысла. Условность такого деления в том, что с развитием биологии и производительных сил общества неуправляемые входы должны постепенно стать управляемыми. Выходами изучаемой системы являются выловы, получаемые морским и прибрежным промыслом.

Для рассматриваемой популяции количественные данные имеются только по выловам (выходам системы).

Рассмотрение популяции озерновской красной по схеме, изображенной на рис. 1, равносильно статистическому подходу к прогнозированию динамики популяции. Поставив на место блока «стадо озерновской красной» соответствующую модель, получим блок-схему системы, которая является объектом изучения в настоящей работе.

Блок-схема популяции красной, изображенная на рис. 2, отображает уже внутреннюю структуру популяции озерновской красной с характерными для нее особенностями (в отличие от схемы на рис. 1, пригодной

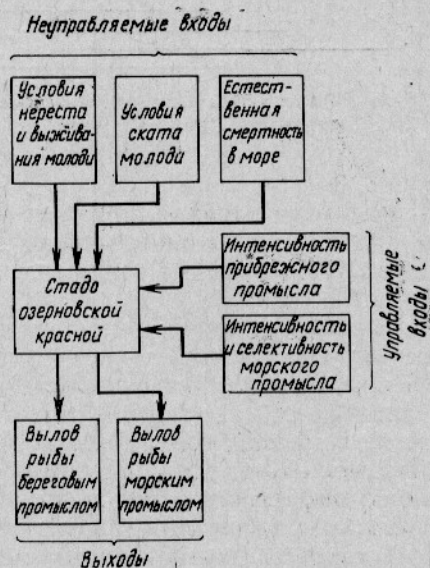


Рис. 1. Блок-схема внешних связей стада озерновской красной.

почти для любой популяции проходной промысловой рыбы). Численность каждой возрастной группы обозначают как $N[i, j, t]$, где i — возраст рыбы (число полных лет жизни), j — число лет, проведенных в озере, и t — год, в котором наблюдается данная численность.

Морской промысел воздействует на стадо красной с интенсивностями $\{i, j, t\}$, распределенными по отдельным возрастным группам (таким способом в модели описана селективность орудий лова). Вылов красной

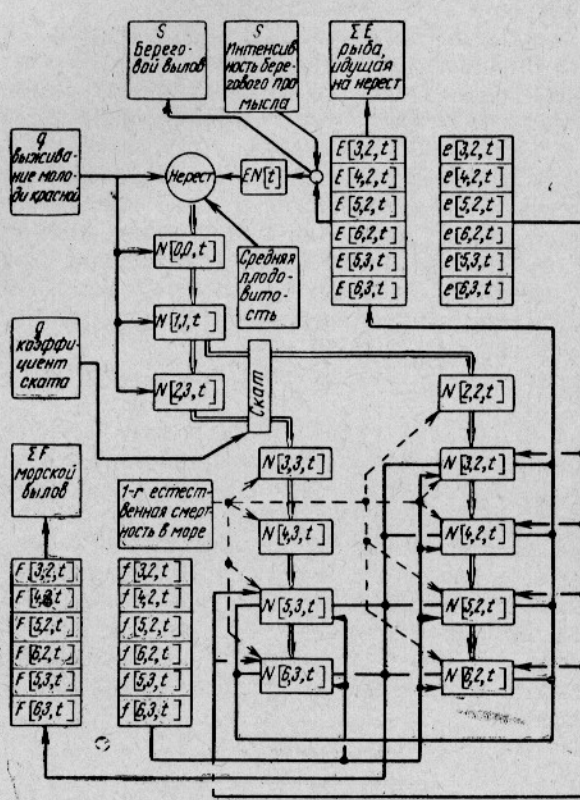


Рис. 2. Блок-схема внутренней структуры популяции озерной красной как кибернетической системы.

стиги гибели икринок во время нереста и в процессе перезимовки определяют или по опубликованным данным (Егорова, Крогиус, Куренков и Семко, 1961), или по эмпирическим формулам, выведенным на основании этих данных.

Выживание личинок и молоди красной в озере определяют параметром $q[t]$. Скат в море может происходить как в возрасте 2+, так и в 3+. Доля численности скатывающихся особей в возрасте 2+ по отношению к численности всей этой возрастной группы выражается коэффициентом g . В морской период жизни красной, помимо процессов промыслового вылова (S) и ухода на нерест (ΣE), нужно отметить процесс естественной смертности и его влияние на численность каждой возрастной группы, выражаемое в модели коэффициентом r .

В процессе прогнозирования нас интересует привязка параметров и поведения модели к реально измеренным величинам уловов и пропусков на нерест, иными словами — поставлена задача по имеющимся данным

морским промыслом $F[i, j, t]$ зависит как от наличной в данный год численности рыб, так и от интенсивности промысла.

Коэффициент ухода на нерест $e[i, j, t]$ определяет число рыб данной возрастной группы, уходящих на нерест в данном году, к общей численности возрастной группы после воздействия морского промысла. Береговой промысел воздействует на совокупность идущих на нерест рыб с интенсивностью s , причем предполагается, что избирательностью береговой промысел не обладает.

Оставшаяся после воздействия берегового промысла часть нерестового стада $EN[t]$ проходит в озеро. Число выметанных икринок определяют по среднему соотношению полов в нерестовом стаде, которое принимается постоянным, равным 1:1. Характери-

о величинах и структурах морских и прибрежных выловов и проходах на нерест определить параметры модели рассматриваемого стада, а затем на основании этих параметров прогнозировать поведение стада в ближайшем будущем.

К сожалению, ввиду отсутствия точных данных о связи параметров, характеризующих стадо озерновской красной, с параметрами внешней среды приходится рассматривать по существу автономную систему, что заметно ограничивает возможности исследования.

Начиная с 1941 г. (Егорова и др., 1961) имеются достаточно полные данные о выловах и проходах на нерест озерновской красной. Хотя интенсивный морской промысел ведется с 1953 г., целесообразно использовать при определении параметров модели имеющиеся данные с учетом соответствующих изменений промысловой ситуации.

Разобьем поставленную задачу прогнозирования на три самостоятельных этапа таким образом, чтобы каждый последующий этап опирался на результаты предыдущего.

Первый этап заключается в определении параметров модели по имеющимся данным о выловах и проходах на нерест. Модель работает как бы в режиме обращенного времени — причины следуют за следствиями, жизненный цикл рыбы начинается с полного исчезновения самой старшей возрастной группы b_2^+ и завершается выходом мальков из икры.

Второй этап — это прогноз состояния популяции на следующий год (в нашем примере 1964 г., так как ко времени выполнения данной работы имелись данные лишь до 1963 г., за исключением суммарной величины прохода на нерест в озеро, известной и для 1964 г.). Если для первого этапа можно было указать общее направление вычислительного процесса, то для второго это сделать труднее, так как прогнозирование на год вперед опирается на целый ряд частных предположений и допущений. Обычно это предположения о неизменности во времени какой-либо величины или параметра. Именно такой принцип лежит в основе принятых в настоящее время методов прогноза состояния рыбных запасов (Дементьева, 1953; Тюрин, 1963). (В данной работе приведена лишь одна из многочисленных возможных схем прогнозирования.)

На третьем этапе — долгосрочном прогнозе — вычислительная схема снова приобретает определенную стройность. В противоположность первому этапу здесь модель работает в нормальном течении времени, так как все ее параметры каким-то способом определены на втором этапе.

Как показало предварительное исследование модели озерновской красной в режиме первого этапа, невозможно игнорировать влияние внешних природных условий на популяцию. Ввиду отсутствия данных, о чем уже говорилось выше, приходится рассматривать влияние внешних условий как случайную функцию времени. При таком подходе к прогнозированию можно применить аппарат теории случайных функций. Например, можно воспользоваться методом линейной экстраполяции случайной функции, подробно изложенным Ю. А. Алехиным (1963).

Рассмотрев общую схему прогноза, перейдем к более детальному описанию алгоритма прогноза динамики численности озерновской красной. Алгоритм, изложенный на языке АЛГОЛ-60 (Агеев, 1964; Лавров, 1964), помещен ниже. В нем не описана процедура решения системы линейных уравнений (из-за общезвестности) (Лозинский и др., 1964). Значение всех идентификаторов поясняется в тексте и на блок-схеме (см. рис. 2), поэтому не дано отдельным списком. Следует отметить, что приведенная программа допускает значительные сокращения, однако обошлись без них, чтобы не усложнять биологический смысл осуществляемых вычислений.

Наиболее неопределенным параметром в модели является естественная смертность красной в море. По данным Паркера (Parke, 1962), она составляет 0,32 для годового промежутка времени. Ввиду неточности этой величины ведем расчет сразу для трех значений естественной смертности в море: 0,22; 0,32 и 0,42. В программе удобнее пользоваться не величиной смертности, а величиной выживания, соответственно равной $r=0,78$; 0,68 и 0,58. Изменением смертности в зависимости от возраста и размера рыбы пренебрегаем из-за грубого приближения, принятого в настоящей работе.

В первом этапе расчет начинается с определения численности старших возрастных групп (6_{2+} и 6_{3+}) путем предположения, что численность их полностью определяется морским и береговым выловом, а также проходом на нерест. Это предположение подкрепляется крайней незначительностью численности рыб возраста 7_{2+} и 7_{3+} в морских уловах. Далее при заданной величине смертности в море и известных значениях выловов и проходов на нерест легко восстановить численность всех морских возрастных групп красной для всех лет, за которые имеются сведения о вылове старших возрастных групп данного поколения. Все действия выполняет группа операторов (1).

Кроме того, для того же поколения с восстановленными численностями возрастных групп можно найти число икринок, выживших в озере и давших начало этому поколению. В программе эта операция выделена в виде специальной процедуры «нерест».

Сопоставляя величины численности скатившейся молоди и выживших икринок, находим коэффициент выживания красной в пресноводный период ее жизни (q), в который предполагается наиболее существенное воздействие на численность популяции переменных внешних условий, поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать величину q как случайную функцию времени.

Определяя численность отдельных возрастных групп, параллельно вычисляют интенсивность морского промысла и части рыб, идущих на нерест, относительно общего числа оставшихся после воздействия морского промысла для каждой возрастной группы; устанавливают величину интенсивности прибрежного промысла, определяемого как отношение числа выловленных рыб к общему числу рыб озерновской красной, подошедших к берегам Камчатки для нереста. Определяют также коэффициент ската g .

Осредняет перечисленные выше параметры и вычисляет коэффициент выживания красной в пресноводный период ее жизни группа операторов (2).

Второй этап расчета программы основан на следующих предположениях:

1) численность возрастной группы 6_{2+} в 1964 г. равна среднему многолетнему значению за весь период существования интенсивного морского промысла. Реализует это предположение группа операторов (3);

2) интенсивность рыболовства относительно возрастной группы 4_{2+} в 1963 и 1964 гг. находится на уровне 1962 г. Группа операторов (4) реализует это предположение;

3) коэффициент распределения ската в море постоянный и сохраняет среднее значение, определенное по данным начиная с 1941 г.

Кроме того, при определении состояния популяции в 1964 г. необходимо получить в модели ту же величину прохода на нерест, которая наблюдалась в действительности — EN [1964]. Это требование учитывает та же группа операторов (4).

Перечисленных выше допущений достаточно, чтобы, пользуясь соотношениями модели, вычислить все переменные, характеризующие состояние популяции в интересующем нас году.

Третий этап начинается с линейной экстраполяции случайного процесса внешних воздействий на популяцию [группа операторов (5) осуществляет эту операцию], как в работе Ю. М. Алехина (1963). Расчет сводится к нахождению коэффициентов в эмпирической зависимости:

$$q[t] = x_1 q[t-1] + x_2 q[t-2] + \dots + x_m q[t-m]. \quad (1)$$

Коэффициенты (x_i) выражаются через значения корреляционной функции случайного процесса и в нашем случае могут быть найдены при решении системы линейных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1m} x_m &= a_{1,m+1} \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2m} x_m &= a_{2,m+1} \\ a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mm} x_m &= a_{m,m+1} \end{aligned} \right\} (2)$$

Коэффициенты и свободные члены этой системы определяют по соотношению

$$a_{ij} = \sum_{k=0}^{l-m} q[i+k]q[j+k], \quad (3)$$

где l — число членов ряда значений случайной функции, которым мы располагаем (в данном случае $l=17$, чего, вообще говоря, довольно мало для точного прогнозирования).

Вывод формулы (3) основан на методе наименьших квадратов и приведен у Ю. М. Алехина (1963). Число членов (m) в эмпирической формуле (1) брали различным: от 3 до 5. Увеличивать число членов ряда ли нужно из-за малой продолжительности ряда наблюдений.

Дальнейшие вычисления сводятся к определению выловов (F) и количества рыб, идущих на нерест (E), для каждой возрастной группы с использованием соотношений модели при предполагаемых неизменных параметрах и переменном внешнем воздействии, рассчитанном по формуле (1). Эти действия выполняет группа операторов (6).

Параметры рыболовства (j и S) фиксировались по данным 1963 г., однако возможны и другие предположения, например о сохранении средних значений этих параметров за весь период существования морского промысла на постоянном уровне или о существовании какой-то определенной стратегии морского и прибрежного промысла. Возможны и другие предположения о ходе во времени коэффициента q , например о его связи с общепланетарными атмосферными процессами и т. п.

После того как разобран ход вычислительного процесса по прогнозированию динамики численности озерновской красной, можно перейти к непосредственному изложению алгоритма прогноза на языке АЛГОЛ-60.

```
begin real array N[0:6, 2:3, 1942:1970], E, F[3:6, 2, 1942:1970],
```

```
  E, F [5:6, 3, 1942:1970], e, f [3:6, 2, 1942:1963],
```

```
  e, f [5:6, 3, 1942:1963], q, EN[1942:1970],
```

```
  a[1:m, 1:m+1], b, x[1:m];
```

```
real r, s, g, sums, sum N, sumg, p;
```

```
integer t, i, j, k, m;
```

```
real procedure НЕРЕСТ(EN)
```

```
begin real J, J1; J:=EN×p;
```

```
  if EN<1,7 then J1:=J×exp(-0.447-0.78210-6×EN) else J1:=J×exp(-1.61-  
  -0.12110-6×EN);
```

```

if J1 ≤ 200 then HEPECT:=0.95×11 else
if J1 ≤ 600 then HEPECT:=J1×exp(0.177—1.04×J1)
else HEPECT:=0.65×J1;
end;
switch Y:=P,Q,Q1; switch Y1:=M,S,V,V;
read (E,F[3:6,2,1942:1963],E,F[5:6,3,1942:1963],N[0,0,1942:1953],EN[1955:1964],p,m);
for r:=0.78, 0.68, 0.58 do
begin sums:=sumN:=sumg:=0;
for t:=1941 step 1 until 1956 do
begin go to L; comment это группа операторов (1);
M:sums:=sums+EN[t]/(E[3,2,t]+E[4,2,t]+E[5,2,t]+E[6,2,t]+E[5,3,t]+E[6,3,t]);
sumN:=sumN+N[6,2,t+7];
sumg:=sumg+(N[3,2,t+4]/r)/(N[3,2,t+4]/r+N[5,3,t+6]/r↑2);
end конец группы (2) и первого этапа прогноза;
N[6,2,1964]:=sumN/16; g:=sumg/16; s:=sums/16;
for t:=1957, 1958, 1959 do
begin go to Y[t—1956];
Z: if t=1957 then
N[4,2,1963]:=F[4,2,1963]/f[4,2,1962] else
if t=1958 then N[4,2,1964]:=(EN[1964]/s—
—E[5,2,1964]—E[6,2,1964]—E[5,3,1964]—E[6,3,1964])/
e[4,2,1963]×(1—f[4,2,1962]);
end конец групп (3) и (4) и второго этапа прогноза;
for i:=1 step 1 until m do
for j:=1 step 1 until m+1 do a[i,j]:=0;
for i:=1 step 1 until m do
for j:=1 step 1 until m+1 do
for k:=0 step 1 until 16—m do
a[i,j]:=a[i,j]+q[i+k+1942]×q[i+k+1942];
for i:=1 step 1 until m do b[i]:=a[i,m+1];
СИСТЕМА ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ (a,b,m,x);
for t:=1961 step 1 until 1966 do
begin q[t]:=0;
for i:=1 step 1 until m do q[t]:=q[t]+x[i]×q[t—i];
end конец группы (5) — линейной экстраполяции;
for t:=1960 step 1 until 1965 do
begin go to if t≠1965 then J else D;
K: end; print (E,F[3:6,2,1964:1970], E,F[5:6,3,1964:1970]);
end конец группы (6) и конец прогноза;
go to W
comment — начало модели в обращенном времени;
L:N[6,3,t+7]:=E[6,2,t+7]F[6,2,t+7];
f[6,2,t+7]:=F[6,2,t+7]/N[6,2,t+7];
R:N[5,2,t+6]:=N[6,2,t+7]/r+E[5,2,t+6]+F[5,2,t+6];
f[5,2,t+6]:=F[5,2,t+6]/N[5,2,t+6];
e[5,2,t+6]:=E[5,2,t+6]/(N[5,2,t+6]—F[5,2,t+6]);
N[4,2,t+5]:=N[5,2,t+6]/r+E[4,2,t+5]+F[4,2,t+5];
f[4,2,t+5]:=F[4,2,t+5]/N[4,2,t+5];
X:e[4,2,t+5]:=E[4,2,t+5]/(N[4,2,t+5]—F[4,2,t+5]);
N[3,2,t+4]:=N[4,2,t+5]/r+E[3,2,t+4]+F[3,2,t+4];
f[3,2,t+4]:=F[3,2,t+4]/N[3,2,t+4];
e[3,2,t+4]:=E[3,2,t+4]/(N[3,2,t+4]—F[3,2,t+4]);
go to if t ≥ 1957 then T else T1;
T1:N[6,3,t+7]:=E[6,3,t+7]+F[6,3,t+7];
f[6,3,t+7]:=F[6,3,t+7]/N[6,3,t+7];
N[5,3,t+6]:=N[6,3,t+7]/r+E[5,3,t+6]+F[5,3,t+6];

```

$S: f[5, 3, t+6] := F[5, 3, t+6] / N[5, 3, t+6];$
 $e[5, 3, t+6] := E[5, 3, t+6] / (N[5, 3, t+6] - F[5, 3, t+6]);$
go to i; $t = 1957$ **then H else U**;
 $U: q[t+1] := (N[3, 2, t+4] / r + N[5, 3, t+6] / r_1 2) /$
if $t \leq 1953$ **then** $N[0, 0, t+1]$ **else** HEPECT(EN[t]);
go to Y1[**if** $t \leq 1956$ **then** 1 **else** $t - 1955$];
 $T: N[5, 3, t+6] := (N[3, 2, t+4] / r / g) \times (1 - g) \times r_1 2;$
go to U;

comment это конец модели в обращенном времени и начало модели в прямом времени;

$D: EN[t] := s \times (E[4, 2, t] + E[5, 2, t] + E[6, 2, t] + E[5, 3, t] + E[6, 3, t]);$
 $J: N[3, 2, t+4] := HEPECT(EN[t]) \times q[t+1] \times g \times r;$
 $F[3, 2, t+4] := N[3, 2, t+4] \times f[3, 2, 1963];$
 $E[3, 2, t+4] := (N[3, 2, t+4] - F[3, 2, t+4]) \times e[3, 2, 1963];$
 $N[4, 2, t+5] := (N[3, 2, t+4] - F[3, 2, t+4] - E[3, 2, t+4]) \times r;$
 $Q1: F[4, 2, t+5] := N[4, 2, t+5] \times f[4, 2, 1962];$
 $E[4, 2, t+5] := (N[4, 2, t+5] - F[4, 2, t+5]) \times e[4, 2, 1963];$
 $Q: N[5, 2, t+6] := (N[4, 2, t+5] - F[4, 2, t+5] - E[4, 2, t+5]) \times r;$
 $F[5, 2, t+6] := N[5, 2, t+6] \times f[5, 2, 1963];$
 $E[5, 2, t+6] := (N[5, 2, t+6] - F[5, 2, t+6]) \times e[5, 2, 1963];$
 $N[6, 2, t+7] := (N[5, 2, t+6] - F[5, 2, t+6] - E[5, 2, t+6]) \times r;$
 $P: F[6, 2, t+7] := N[6, 2, t+7] \times f[6, 2, 1963];$
 $E[6, 2, t+7] := N[6, 2, t+7] - F[6, 2, t+7];$
go to if $t = 1957$ **then R else if** $t = 1958$ **V 1959 then X else P1**;
 $P1: N[5, 3, t+6] := HEPECT(EN[t]) \times q[t+1] \times (1 - g) \times r;$
 $V: F[5, 3, t+6] := N[5, 3, t+6] \times f[5, 3, 1963];$
 $E[5, 3, t+6] := (N[5, 3, t+6] - F[5, 3, t+6]) \times e[5, 3, 1963];$
 $H: N[6, 3, t+7] := (N[5, 3, t+6] - F[5, 3, t+6] - E[5, 3, t+6]) \times r;$
 $F[6, 3, t+7] := N[6, 3, t+7] \times f[6, 3, 1963];$
 $E[6, 3, t+7] := N[6, 3, t+7] - F[6, 3, t+7];$
go to if $t \leq 1959$ **then Z else K**;
W: end

Теперь можно перейти к численной реализации описанного алгоритма на основании имеющихся данных. Некоторые результаты расчетов приведены в табл. 1—6. В отдельных случаях группа операторов (5) блокировалась и расчет вели по среднему значению параметра q .

В различных вариантах прогноза можно проследить за общей тенденцией в поведении популяции озерновской красной, выражающейся или в сохранении весьма низкого уровня численности (см. табл. 1, 2, 4 и 5), или в значительном снижении этого уровня (см. табл. 3 и 6). Одновременно заметно некоторое относительное повышение выловов и проходов на нерест (по сравнению с 1964 г.) озерновской красной в 1966—1968 гг. Общее же сравнение полученных результатов с состоянием популяции в предыдущие годы показывает хронический перелом и необходимость срочных мер по восстановлению ее запасов. Исследование модели озерновской красной как автономной системы также показывает, что проходы на нерест менее 1 млн. особей ее свидетельствуют об угнетенном состоянии стада и нерациональной его эксплуатации.

Расчеты показывают зависимость результатов прогноза от величины выживания молоди в озере и естественной смертности в море, являющихся наиболее неопределенными для стада озерновской красной. Для повышения надежности прогноза необходимы точные данные не только о самих величинах естественной смертности, но и количественное описание процессов гибели особей озерновской красной на различных этапах ее жизни.

Таблица 1

Прогноз выловов и проходов на нерест озерной красной при смертности в море $1-r=0,32$ и коэффициенте выживания молоди $q=4,7\%$, что соответствует среднему многолетнему с 1941 г. (млн. шт.)

Год	EN	E/F					$\frac{\Sigma E}{\Sigma F}$
		4,2	5,2	5,3	6,2	6,3	
1964	0,30	0,5	0,3	0,1	0,0	0,2	1,1
		1,6	0,4	0,1	0,1	0,5	2,7
1965	0,47	0,7	0,6	0,2	0,0	0,0	1,5
		2,2	1,0	0,3	0,0	0,1	3,6
1966	0,64	0,8	0,9	0,1	0,0	0,1	1,9
		2,6	1,4	0,2	0,0	0,2	3,4
1967	0,68	0,7	1,0	0,2	0,1	0,0	2,0
		2,2	1,5	0,5	0,1	0,1	4,4
1968	0,60	0,6	0,8	0,2	0,0	0,2	1,8
		1,9	1,4	0,4	0,1	0,3	4,1
1969	0,50	0,5	0,7	0,2	0,0	0,1	1,5
		1,5	1,1	0,3	0,1	0,2	3,2
1970	0,47	0,6	0,5	0,2	0,0	0,1	1,4
		2,0	0,9	0,3	0,0	0,2	3,4

Таблица 2

Прогноз выловов и проходов на нерест озерной красной при смертности в море $1-r=0,32$ и коэффициенте выживания молоди $q=3,1\%$, что соответствует среднему за последние три года (млн. шт.)

Год	EN	E/F					$\frac{\Sigma E}{\Sigma F}$
		4,2	5,2	5,3	6,2	6,3	
1964	0,30	0,5	0,3	0,1	0,0	0,2	1,1
		1,6	0,4	0,1	0,1	0,5	2,7
1965	0,44	0,5	0,6	0,2	0,0	0,0	1,3
		1,5	1,0	0,3	0,0	0,1	2,9
1966	0,44	0,5	0,6	0,1	0,0	0,1	1,3
		1,7	1,0	0,3	0,0	0,1	3,2
1967	0,51	0,5	0,7	0,2	0,0	0,1	1,5
		1,5	1,1	0,3	0,0	0,2	3,1
1968	0,40	0,4	0,6	0,1	0,0	0,1	1,2
		1,2	0,9	0,3	0,1	0,2	2,7
1969	0,30	0,3	0,5	0,1	0,0	0,1	1,0
		0,9	0,8	0,2	0,0	0,1	2,0
1970	0,30	0,4	0,4	0,1	0,0	0,1	1,0
		1,2	0,6	0,2	0,0	0,1	2,1

Таблица 3

Прогноз выловов и проходов на нерест озерной красной при смертности в море $1-r=0,32$ и коэффициенте выживания молоди $q=2,0\%$, что соответствует среднему за последние два года (млн. шт.)

Год	EN	E/F					$\frac{\Sigma E}{\Sigma F}$
		4,2	5,2	5,3	6,2	6,3	
1964	0,30	0,5	0,3	0,1	0,0	0,2	1,1
		1,6	0,4	0,1	0,1	0,5	2,7
1965	0,30	0,3	0,6	0,2	0,0	0,0	1,1
		1,0	1,0	0,3	0,0	0,1	2,4
1966	0,30	0,4	0,4	0,1	0,0	0,1	0,9
		1,1	0,6	0,2	0,0	0,2	2,1
1967	0,27	0,3	0,4	0,1	0,0	0,0	0,8
		0,9	0,7	0,2	0,0	0,1	1,9
1968	0,30	0,3	0,4	0,1	0,0	0,1	0,9
		0,8	0,6	0,2	0,1	0,1	1,8
1969	0,20	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,6
		0,6	0,5	0,1	0,0	0,1	1,3
1970	0,12	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,5
		0,7	0,4	0,1	0,0	0,1	1,3

Таблица 4

Прогноз выловов и проходов на нерест озерной красной при смертности в море $1-r=0,42$ и коэффициенте выживания молоди, вычисленном по формуле $q_t = 0,69q_{t-1} + 0,23q_{t-2} + 0,16q_{t-3}$ (млн. шт.)

Год	EN	E/F					$\frac{\Sigma E}{\Sigma F}$
		4,2	5,2	5,3	6,2	6,3	
1964	0,30	0,5	0,2	0,1	0,0	0,2	1,0
		1,5	0,5	0,1	0,1	0,3	2,5
1965	0,38	0,4	0,6	0,1	0,0	0,0	1,1
		1,4	1,0	0,2	0,1	0,0	2,7
1966	0,38	0,4	0,5	0,1	0,0	0,1	1,1
		1,6	0,8	0,2	0,1	0,2	2,8
1967	0,40	0,4	0,6	0,1	0,0	0,1	1,2
		1,5	1,1	0,3	0,1	0,2	3,2
1968	0,38	0,3	0,6	0,1	0,0	0,1	1,1
		1,3	1,0	0,2	0,1	0,1	2,7
1969	0,30	0,3	0,5	0,1	0,0	0,1	1,0
		1,0	1,0	0,2	0,1	0,2	2,5
1970	0,30	0,4	0,4	0,1	0,0	0,0	0,9
		1,3	0,8	0,2	0,1	0,1	2,5

Таблица 5

Прогноз выловов и проходов на нерест озерновской красной при смертности в море $1-r=0,42$ и коэффициенте выживания молоди $q=4,4\%$, что соответствует среднему за последние два года (млн. шт.)

Год	EN	E/N					$\frac{\Sigma E}{\Sigma F}$
		4,2	5,2	5,3	6,2	6,3	
1964	0,30	0,5	0,2	0,1	0,0	0,2	1,0
		1,5	0,5	0,1	0,1	0,3	2,5
1965	0,38	0,4	0,6	0,1	0,0	0,0	1,1
		1,4	1,0	0,2	0,1	0,0	2,7
1966	0,38	0,4	0,5	0,1	0,0	0,1	1,1
		1,6	0,8	0,2	0,1	0,2	2,9
1967	0,40	0,4	0,6	0,1	0,0	0,1	1,2
		1,3	1,0	0,2	0,1	0,1	2,7
1968	0,38	0,4	0,5	0,1	0,0	0,1	1,1
		1,1	0,9	0,2	0,1	0,2	2,5
1969	0,27	0,2	0,4	0,1	0,0	0,1	0,8
		0,8	0,7	0,2	0,1	0,1	1,9
1970	0,27	0,3	0,3	0,1	0,1	0,0	0,8
		1,0	0,6	0,2	0,1	1,1	2,0

Таблица 6

Прогноз выловов и проходов на нерест озерновской красной при смертности в море $1-r=0,22$ и коэффициенте выживания молоди, вычисленном по формуле $q_t = 0,18q_{t-1} + 0,14q_{t-2} + 0,61q_{t-3}$ (млн. шт.)

Год	EN	E/F					$\frac{\Sigma E}{\Sigma F}$
		4,2	5,2	5,3	6,2	6,3	
1964	0,30	0,6	0,3	0,0	0,0	0,1	1,0
		2,7	0,4	0,2	0,1	0,4	3,8
1965	0,52	0,4	1,3	0,1	0,0	0,0	1,8
		1,8	1,7	0,7	0,1	0,1	4,4
1966	0,38	0,3	0,8	0,1	0,0	0,1	1,3
		1,4	1,1	0,5	0,1	0,2	3,3
1967	0,32	0,4	0,6	0,0	0,0	0,1	1,1
		1,9	0,9	0,4	0,1	0,1	3,4
1968	0,38	0,3	0,9	0,1	0,0	0,0	1,3
		1,3	1,2	0,5	0,1	0,1	3,2
1969	0,27	0,2	0,6	0,0	0,0	0,1	0,9
		0,8	0,9	0,4	0,1	0,1	2,3
1970	0,18	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,6
		1,5	0,4	0,2	0,1	0,1	2,3

Другими важными для прогноза динамики численности являются процессы ската в море и возврата на нерест. Количественное описание механизма этих процессов позволит существенно уточнить и усовершенствовать модель популяции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разобранный пример прогнозирования динамики численности озерновской красной показывает, что применение модели популяции позволяет ввести в алгоритм прогноза максимум доступных сведений об этой популяции и придать процессу прогнозирования стройный и обзримый вид. Изложение алгоритма прогноза на языке АЛГОЛ-60 или в виде программы для электронной вычислительной машины делает возможным быстрый расчет многих вариантов прогноза для популяции любой сложности.

Проделанная работа является лишь первым шагом в применении современной вычислительной техники для прогнозирования динамики численности популяций промысловых рыб. Использование кибернетических моделей позволит не только ставить задачи прогнозирования, но и подойти к определению оптимальных режимов и оптимальной стратегии рыболовства.

ЛИТЕРАТУРА

- Агеев М. И. Основы алгоритмического языка АЛГОЛ-60. Изд. Вычислительного центра АН СССР, 1964.
- Алехин Ю. М. Статистические прогнозы в геофизике. Изд-во ЛГУ, 1963.
- Глушков В. М. Синтез цифровых автоматов. Физматгиз, 1962.
- Дементьева Т. Ф. Закономерности колебаний численности основных промысловых рыб и методы промысловых прогнозов. Труды Всесоюзной конференции по вопросам рыбного хозяйства. Изд-во АН СССР, 1953.
- Егорова Т. В. Динамика численности красной р. Озерной. Сб. «Лососевое хозяйство Дальнего Востока». Изд-во «Наука», 1964.
- Егорова Т. В., Крогиус Ф. В., Куренков И. И. и Семко Р. С. Причины колебаний численности красной р. Озерной. «Вопросы ихтиологии», Т. 1. Вып. 3 (20), 1961.
- Крогиус Ф. В. Японский лососевый промысел в открытом море и его влияние на запасы красной. «Рыбное хозяйство», № 2, 1961а.
- Крогиус Ф. В. О связях темпа роста и численности красной. Труды конференции по динамике численности рыб. Изд-во АН СССР, 1961б.
- Крогиус Ф. В. и Крохин Е. М. Очерк Курильского озера и биология красной, нерестующей в его бассейне. Труды Тихоокеанского комитета АН СССР. Т. IV, 1937.
- Крохин Е. М. Колебания кормности оз. Курильского в связи с изменением численности красной, нерестующей в озере. «Технико-экономический бюллетень Камчатского СХХ», № 6, 1958.
- Крохин Е. М. О влиянии количества отнерестовавших в озере производителей красной на режим биогенных элементов. ДАН СССР. Т. СХХVIII, № 3, 1959.
- Лавров С. С. Универсальный язык программирования (АЛГОЛ-60). Изд-во «Наука», 1964.
- Лозинский Н. Н., Макушкин А. Т., Розенберг В. Я., Эрглис В. Р. Справочник программиста. Т. II. Изд-во «Судостроение», 1964.
- Ляпунов А. А. и Яблонский С. В. Теоретические проблемы кибернетики. Сб. «Вопросы кибернетики», Вып. 9, 1963.
- Моисеев П. А. Советско-Японская конвенция по рыболовству в открытом море в северо-западной части Тихого океана и некоторые задачи исследований. Сб. «Лососевое хозяйство Дальнего Востока». Изд-во «Наука», 1964.
- Монастырский Г. Н. Динамика численности промысловых рыб. Труды ВНИРО. Т. 21, 1952.
- Меншуткин В. В. Метод моделирования в динамике численности рыб (обзор). Изд. ВНИРО, 1964а.
- Меншуткин В. В. Исследование динамики численности рыб на основе представления популяции в виде кибернетической системы. «Вопросы ихтиологии», Т. 4. Вып. 1 (30), 1964б.
- Меншуткин В. В. Реализация простейших моделей популяций рыб на электронной вычислительной машине. «Вопросы ихтиологии», Т. 4. Вып. 4(33), 1964в.
- Меншуткин В. В. Опыт моделирования стада озерновской красной на электронной вычислительной машине. Труды ВНИРО, Т. 62, 1967.
- Никольский Г. В. О теоретических основах работ по динамике численности рыб. Труды Всесоюзной конференции по вопросам рыбного хозяйства. Изд-во АН СССР, 1953.

Пугачев В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. Гостехиздат, 1957.

Семко Р. С. Современные изменения численности тихоокеанских лососей и их основные причины. Труды конференции по динамике численности рыб. Изд-во АН СССР, 1961.

Тюрин П. В. Биологические обоснования регулирования рыболовства на внутренних водоемах. Пищепромиздат, 1963.

Эшби У. Р. Введение в кибернетику. ИЛ, 1959.

Larkin P. A. and Hourston A. S. A model for simulation of the population biology of pacific salmon. J. Fish. Res. Bd. Canada, v. 21, N 5, 1964.

Parker R. R. Estimation of ocean mortality rates for pacific salmon (*Oncorhynchus*). J. Fish. Res. Bd. Canada, v. 19, N 4, 1962.