

УДК 597-19:681.14

МОДЕЛЬ ИХТИОЦЕНОЗА ОЗЕРА ДАЛЬНОГО, РЕАЛИЗОВАННАЯ НА ЭЛЕКТРОННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

В. Г. Карпов, Ф. В. Крогиус, Е. М. Крохин, В. В. Меншуткин

Решить задачу оптимального управления рыбными ресурсами водоемов невозможно без количественного знания основных закономерностей, определяющих динамику численности и ихтиомассы популяций промысловых рыб. При этом важны не столько сведения об отдельных связях и зависимостях, сколько одновременное непротиворечивое соединение всех процессов и факторов, влияющих на динамику управляемого объекта. Иными словами, необходимо создать оперативную модель, отражающую структуру и поведение популяции промысловой рыбы.

Методы моделирования популяций промысловых рыб разнообразны (Меншуткин, 1964а), однако наиболее подходящим из них, способным отразить высокую степень сложности исследуемого объекта, является метод кибернетического моделирования с применением электронных вычислительных машин (ЭВМ).

Первые опыты моделирования популяций промысловых рыб на ЭВМ относятся к изолированным популяциям, например модель популяции окуня (Меншуткин, 1964б) и обобщенная модель тихоокеанских лососей (Larkin and Hourston, 1964). Кроме того, на ЭВМ была реализована целая серия абстрактных моделей популяций рыб (Меншуткин, 1964в, 1965) для выяснения методических вопросов, причем прототипами для них служили опытные модели Риккера (Ricker, 1954), Г. В. Никольского (1963) и Ю. Е. Лапина (1961).

Применительно к конкретной популяции промысловой рыбы, имеющей существенное практическое значение, создание модели на ЭВМ было произведено на примере стада нерки, или красной¹ (*Oncorhynchus nerka* Walb), из бассейна р. Озерной, в юго-западной части п-ова Камчатка. Выбор для моделирования этой популяции обусловлен непрерывными количественными наблюдениями, проводимыми в бассейне р. Озерной Камчатским отделением (ТИНРО) более 20 лет (Егорова, Крогиус, Куренков, Семко, 1961). Исследование модели озерновской красной показало приемлемость и эффективность применения метода кибернетического моделирования к конкретной популяции промысловой рыбы. На основе этой модели был составлен прогноз динамики численности озерновской красной, давший богатый количественный материал о структуре и численности изучаемой популяции, который невозможно получить при обычных методах прогнозирования.

Однако все рассмотренные выше модели имеют один общий существенный недостаток — это модели изолированных популяций. Много-

¹ Далее будем называть красной.

ряться о принципе кодирования многочисленных переменных и параметров, фигурирующих в модели. Первая буква кода означает характер данной величины (n — численность, w — вес (масса), k — безразмерный коэффициент). Последняя буква кода указывает на материальную принадлежность рассматриваемой величины (N — красная, G — голец, K — колюшка, P — планктон, S — береговой промысел и M — морской промысел красной). Средние символы кода обозначают процесс или явление, к которому относится данная величина (b — проход на нерест, h — избирательность питания, R — максимальный рацион, m — естественная смертность, mg — смертность во время ската, g — скат в море, k — образование карликов, p — плодовитость, e — выметанные икринки, l — выжившие икринки, E — нерестовое стадо, P — продукция, r — съеденный планктон, rf — потребность в пище, NK — совместное воздействие на популяции красной и колюшки, W — параметры функций прироста, S — суммарные величины, mE — рыба, погибшая после нереста, L , mM , D , q — вспомогательные величины). Отсутствие средних символов в коде означает, что величина является численностью возрастной группы (nN , nG , nK , nS , nM), или средним весом (массой) особи в данной возрастной группе (wN , wG , wK). Для случая промысла двухбуквенный код интерпретируется как весовой вылов (wS , wM), или селективность орудий лова (kS , kM), для планктона wP означает его биомассу.

Вернемся к рассмотрению блок-схемы исследуемой системы (см. рис. 1), верхняя правая часть которой отражает морской период жизни красной (SEA). В море скатывается годовалая, двух- и трехгодовалая молодь. В популяции красной оз. Дальнего первые две группы могут оставаться в море один, два и три года (блоки $N2_1^+$, $N3_1^+$, $N4_1^+$ и $N3_2^+$ + $N4_2^+$, $N5_2^+$). Молодь, скатывающаяся трехгодовалой (блоки $N4_3^+$ и $N5_3^+$), живет в море один, обычно два года. В течение морского периода жизни красная подвергается воздействию активного промысла (блок wSM), а также гибнет (естественная смертность) (на схеме не показано).

Красная, достигшая половой зрелости, относится к возрастным группам 3_1^+ , 4_1^+ , 4_2^+ , 5_2^+ и 5_3^+ . Во время подхода к устьям рек она облавливается прибрежным промыслом (блок wSS). Оставшаяся часть производителей проходит на озерные нерестилища, где вместе с особями, достигшими половозрелости без ската в море (так называемыми карликами)¹, формирует нерестовое стадо (блок nEN). Здесь уже начинается озерная часть модели ($LAKE$).

Нерестующая в озере красная откладывает икру (блок neN) и погибает. Выжившая икра дает начало новому поколению рыб, которые могут жить в озере один, два или три года (блоки $N0+$, $N1+$, $N2+$ и $N3+$). В течение всего пресноводного периода жизни красная питается планктоном (блок wPP) и в свою очередь подвергается воздействию хищника — гольца (блок $kNKG$).

Продукция планктона (блок P), помимо внешних температурных и иных условий, зависит от количества производителей красной, умерших в прошлом году (nEN), поскольку, как было установлено (Крохин, 1959), с трупами рыб в озеро вносится существенное количество органического вещества.

В озере Дальнем колюшка достигает четырехлетнего возраста (блоки $K0+$, $K1+$, $K2+$, $K3+$ и $K4+$) и так же, как красная, питается планктоном. Колюшка достигает половой зрелости в возрасте $2+$, поэто-

¹ «Residual» Pukkepa (Ricker, 1938).

му нерестовое стадо ее (блок nEK) формируется из особей этого возраста и более старших возрастных групп. В модели принято, что плодовитость самки колюшки существенно зависит от условий питания.

Принято, что популяция гольца в озере состоит из одиннадцати возрастных групп (блоки $G0+$, $G1+$, $G2+$, $G3+$, $G4+$, $G5+$, $G6+$, $G7+$, $G8+$, $G9+$ и $G10+$), поскольку количество рыб, живущих в данном водоеме более длительное время, ничтожно мало. Потребность гольцов в пище (блок $nrjG$) удовлетворяется за счет поедания особей красной и колюшки (блок $kNKG$). Гольцы становятся половозрелыми в возрасте $3+$, но входят в состав нерестового стада (блок nEG) не каждый год — в зависимости от обеспеченности их пищей (блок kbG). Гольцы всех возрастных групп подвержены естественной и отчасти промысловой смертности (блок kmG).

Блок-схема программы, реализующей алгоритм перехода модели из одного состояния в следующее, приведена на рис. 2. Программа, записанная на языке АЛГОЛ-60 (Лавров, 1964), помещена ниже, причем начала всех элементов блок-схемы помечены в программе метками, соответствующими блок-схеме.

В самом начале программы производится ввод в оперативную память машины всех параметров и исходных данных (1). Функционирование модели начинается с определения убыли красной в море в результате естественной смертности (2). Размеры морского вылова находят при помощи соответствующих коэффициентов селективности орудий лова (kM), меняющихся в зависимости от размера рыб и времени. Морской вылов суммируют в единицах массы (wSM), для чего численность пойманных рыб каждой возрастной группы умножают на среднюю массу особи этого возраста (3).

Количество особей красной, идущих на нерест в озеро (nEN), вычисляют по коэффициентам ухода на нерест (kbN) отдельно для каждой возрастной группы (4). Воздействие берегового промысла на популяцию красной (5) считается неселективным, поэтому число пойманных рыб находят простым умножением количества идущих нереститься особей на интенсивность берегового промысла (kS).

Формирование нерестового стада красной (6) происходит из оставшихся после воздействия берегового промысла особей, а также за счет присоединения к ним небольшого числа карликов, т. е. особей, достигших половозрелости без ската в море ($nEN[1]$ и $nEN[2]$). Количество выметанной икры определяют по средней плодовитости, причем соотношение полов предполагают постоянным (7).

Выживание икры красной (8) связано с ограниченностью площади нерестилищ, которая определяется выходами грунтовых вод. Гибель икры происходит как во время нереста при повторном перекапывании гнезд самками, так и во время развития икры — в результате промерзания гнезд или недостаточного поступления грунтовых вод. При переполнении нерестилищ выживает некоторое фиксированное количество икры,

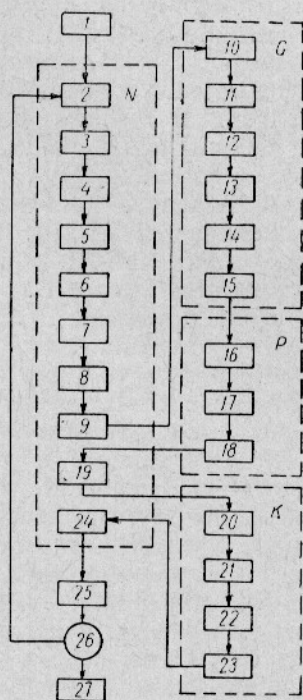


Рис. 2. Блок-схема программы.

в противном случае выживание подчиняется зависимости подобной репродукционной кривой Риккера (Ricker, 1954).

Количество особей красной, скатывающихся в море (9), вычисляют как определенную долю (kqN) от наличной численности рыб в озере, при этом в возрастной группе 3+ скатываются в море все особи, за исключением карликов.

Взаимоотношения типа «хищник—жертва» между гольцом, с одной стороны, и красной и колюшкой — с другой, моделируются исходя из закономерностей, описанных В. С. Ивлевым (1955). Вычислительная схема, примененная в настоящей модели, является видоизмененной и развитой схемой, изложенной при построении модели популяции окуня (Меншуткин, 19646). Определение пищевых потребностей гольцов (10) происходит согласно матрице элективности питания (khG [1 : 8, 1 : 9]) и максимальным рационам гольцов (wRG). Результирующее воздействие всех хищников на данную возрастную группу жертв (nDG) находят суммированием пищевых потребностей отдельных возрастных групп хищников (nLG [j, i]). Путем сопоставления числа жертв, соответствующего максимальным рационам хищников, с реальным наличным количеством жертв определяют коэффициенты естественной смертности для красной и колюшки ($kNKG$), причем для каждой возрастной группы жертв коэффициент различен.

Состав нерестового стада гольцов (12) вычисляют путем умножения численности возрастной группы (nG) на коэффициент половозрелости (kbG), равный нулю для возрастных групп моложе 3+, и на поправочный коэффициент участия в нересте, связанный с условиями питания ($kmMG$). Выживание икры гольцов (13) определяют по соотношению, аналогичному для красной, только без ограничения по нерестовой площади, так как предполагается, что количество нерестующих гольцов никогда не бывает очень большим.

Естественная смертность гольцов (14) зависит от возраста и имеет два максимума: один для рыб в возрасте 0+, другой для рыб старших возрастных групп (8+, 9+ и 10+). Промысловая смертность гольцов принята неселективной. Переход популяции гольцов в следующее состояние (15) осуществляется пересылкой значений численности i -х возрастных групп в ячейки оперативной памяти машины, соответствующие ($i + 1$)-ым возрастным группам.

Суммарную потребность в пище (16) всех особей и молоди красной, живущей в озере, определяют исходя из максимальных рационов питания, различных для возрастных групп.

Продукция планктона (17) зависит как от внешних условий (в оперативную память машины может быть введен ряд значений wP [t], характеризующих развитие планктона в каждом году, для всех лет исследования модели), так и от количества отмирающей после нереста красной, о чем было сказано выше.

Условия питания красной и колюшки в данном году (18) определяют путем сопоставления продукции планктона (wPP) и суммарной потребности в пище всех планктонофагов (wrP).

Исходя из определенных ранее условий питания, устанавливают годовой прирост молоди красной (19), причем для каждой возрастной группы устанавливают ограничения по максимальному приросту, соответствующему случаю полного удовлетворения максимального рациона.

Численность нерестового стада колюшки (20) определяют путем суммирования всех произведений численности возрастных групп колюшки (nK) на коэффициент половозрелости (kbK). Плодовитость самок колюшки (kpK) может отклоняться от своего среднего значения в обе

стороны в зависимости от степени удовлетворения максимального рациона питания за счет планктона ($kNKP$), при этом максимальная и минимальная плодовитости фиксированы заранее. При вычислении количества выметанных колюшками икринок (21) учитывается именно эта переменная плодовитость.

Количество выжившей икры колюшки (22) определяют так же, как для красной, гольцо, естественно, при совершенно иных численных значениях параметров и коэффициентов. Переход популяции колюшки в следующее состояние (23) осуществляется сразу после того, как определено количество особей оставшихся в живых после воздействия гольцов.

Популяция красной переходит в новое состояние (24) как в озерный, так и морской период жизни, при этом скатившаяся молодь формирует численность возрастных групп красной, живущей первый год в море. Принята следующая индексация морских возрастных групп красной:

| | | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Индекс | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 8 | 11 | 12 |
| Возраст | 2_1+ | 3_1+ | 4_1+ | 3_2+ | 4_2+ | 5_2+ | 4_3+ | 5_3+ |

После прохождения всех операторов модели компонуется и выводится на печать массив величин, характеризующий состояние моделируемой системы и ее выходы (25). В данном случае это величины морского и берегового выловов и численности возрастных групп всех трех популяций, входящих в описанную систему.

Пройдя заданное число состояний t_{\max} , что регулируется операторами внешнего цикла (26), программа выходит на «останов» (27).

На языке АЛГОЛ-60 программа, реализующая описанную выше модель на электронной вычислительной машине, выглядит так.

```

begin real array nN, wN[1:12], nEN[1:10], nG, kmG[1:11], kNKG, nDG[1:9], kbN, wRG
  kbG, kmN, nS, wS, nM, wM, wqG[1:8], nK, wRK, nbK[1:5], kRN, wWN1, wWN2,
  wWN3, wWN4, kgN[1:4], kmgN[1:3], kkN, nmEN[1:2], nLG, khG[1:8, 1:9], kM[1:8,
  1:tmax], wP, kS[1:tmax];
real wSM, wSS, nESN, kpN, kpK, kpG, neG, neK, neN, nlN, nlG, nlK,
  kmMG, kNKP, wPP, wrP, keN, keG, keK;
integer i, j, t, tmax;
11:read (nN, wN[1:12], nG[1:11], kmG[1:10], kbN, wRG, kbG, kmN[1:8], nK, kbK, wRK,
  [1:5], kRN, kgN, wWN1, wWN2, wWN3, wWN4[1:4], kgN[1:3], khG[1:8, 1:9],
  wP, kS[1:tmax], kpN, kpK, kpG, kM);
26:for t:=1 step 1 until tmax do
begin wSM:=wSS:=nESN:=0;
  for i:=5 step 1 until 12 do
begin 2:nN [i]:=(1-kmN[i-4])xN[i];
  3:nM[i]:=nN[i]xkM [i-4,t];
  wSM:=wSM+nM[i]xwN[i];
  nN[i]:=nN[i]-nM[i];
  4:nEN[i-2]:=nN[i]xkN[i-4];
  nN[i]:=nN[i]-nEN[i-2];
  nS[i-2]:=nEN[i-2]xkS[i];
  wS[i-4]:=nS[i-2]xwN[i];
  5:nEN[i-2]:=nEN[i-2]-nS[i-2];
  wSS:=wSS+wN[i];
  nESN:=nESN+nEN[i-2];
end
end
6:nEN[1]:=nN[3]xkkN[1]; nEN[2]:=nN[4]xkkN[2];
  nmEN[1]:=nESN+nEN[1]+nEN[2];

```



```

7:  $neN := nESN \times kpN + (nEN[1] + nEN[2]) \times kpkN$ ;
8: if  $neN > 130_{10}^3$  then  $nIN := 3900$  else
    $nIN := neN \times \exp(keN \times neN)$ ;
9:  $nN[3] := nN[3] - nEN[1]$ ;  $nN[4] := nN[4] - nEN[2]$ ;
   for  $i := 1$  step 1 until 4 do
begin  $ngN[i] := nN[i] \times kgN[i]$ ;
       $nN[i] := nN[i] - ngN[i]$ 
end;
10: for  $j := 1$  step 1 until 8 do
begin  $wgG[j] := 0$ ;
      for  $i := 1$  step 1 until 9 do
if  $i < 5$  then  $wqG[j] := wqG[j] + khG[j, i] \times nN[i] \times wN[i]$ 
else  $wqG[j] := wqG[j] + khG[j, i] \times nK[i-4] \times wK[i-4]$ 
end;
      for  $j := 1$  step 1 until 8 do
      for  $i := 1$  step 1 until 9 do
if  $i < 5$  then  $nLG[j, i] := wRG[j] \times khG[j, i] \times nN[i] / wqG[j]$ 
else  $nLG[j, i] := wRG[j] \times nG[j] \times khG[j, i] \times nK[i-4] / wqG[j]$ ;
       $kmMG := 0$ ;
11: for  $i := 1$  step 1 until 9 do
begin  $nDG[i] := 0$ ;
      for  $j := 1$  step 1 until 9 do  $nDG[i] := nDG[i] + nLG[j, i]$ ;
      if  $(nN[i] = 0) \vee (nK[i] = 0)$  then begin  $kNKG[i] := 0$ ;
      go to M end;
      if  $i < 5$  then  $nDG[i] := nDG[i] / nN[i]$  else
         $nDG[i] := nDG[i] / nK[i-4]$ ;
      if  $nDG[i] < 0.96$  then  $kNKG[i] := nDG[i]$  else
      if  $nDG[i] < 3.0$  then  $kNKG[i] := 1 - \exp(nDG[i] \times (nDG[i] \times 0.5 - 2.53))$  else  $kNKG[i] :=$ 
         $= 1 - \exp(-1.04 \times nDG[i])$ ;
       $kmMG := kmV.G + kNKG[i] / nDG[i]$ ;
M: end;
       $kmMG := kmMG / 9$ ;  $neG := 0$ ;
12: for  $i := 1$  step 1 until 8 do
begin  $neG[i] := nG[i] \times ktG[i] \times kmMG$ ;
       $neG := neG + neG[i]$ 
end;
13:  $neG := neG \times kpG$ ;  $nIG := neG \times \exp(kG \times neG)$ ;
14: 15: for  $i := 11$  step -1 until 2 do
 $nG[i] := nG[i-1] \times kmG[i-1]$ ;
 $nG[1] := nIG$ ;
16:  $wrP := 0$ 
for  $i := 1$  step 1 until 4 do
 $wrP := wrP + nN[i] \times wRN[i] \times wN[i]$ ;
for  $i := 1$  step 1 until 5 do
 $wrP := wrP + nK[i] \times wRK[i]$ ;
17:  $wPP := 0.5 \times th(nmEN[2] - 80) \times 0.5_{10}^{-1} + 1.0 \times wP[t]$ ;
18:  $kNKP := wPP / wrP$ ;  $nmEN[2] := nmEN[1]$ ;
19: for  $i := 4$  step -1 until 2 do
 $wN[i] := wN[i-1] + wWN1[i-1] \times th(wWN2[i-1]) \times (kNKP - wWN3[i-1]) + wWN4$ 
   $[i-1]$ ;
 $wN[1] := 4.8$ ;  $neK := 0$ ;
20: for  $i := 1$  step 1 until 5 do
 $neK := neK + nK[i] \times kbK[i]$ ;
21:  $kpkK := 40 \times th(kNKP - 1) + 54$ ;
 $neK := neK \times kpkK$ ;

```

```

22: if  $neK > 1,5_{10}^6$  then  $nLK := 2_{10}^4$  else  $nLK := neK \times \exp(keK \times neK)$ ;
23 for  $i := 5$  step  $-1$  until  $2$  do
     $nK[i] := nK[i-1] \times (1 - kNKG[i+3]) \times (1 - kbK[i-1])$ ;
     $nK[1] := nLK$ ;
24: for  $i := 4$  step  $-1$  until  $2$  do
     $nN[i] := nN[i-1] \times (1 - kNKG[i-1])$ ;
    for  $i := 2$  step  $1$  until  $4$  do
         $ngN[i] := (1 - kmgN[i-1]) \times ngN[i]$ ;
         $nN[1] := nLN$ ;  $nN[12] := nN[11]$ ;  $nN[11] := ngN[4]$ ;
         $nN[10] := nN[9]$ ;  $nN[9] := nN[8]$ ;  $nN[8] := ngN[3]$ ;
         $nN[7] := nN[6]$ ;  $nN[6] := nN[5]$ ;  $nN[5] := ngN[2]$ ;
25: print ( $t$ ,  $wSS$ ,  $wSM$ ,  $nESN$ ,  $nN$ ,  $nK$ ,  $nG$ );
end
27: end

```

Рассмотренная программа была реализована на машине БЭСМ-2М Сибирского энергетического института АН СССР (Иркутск). Все численности определяли в тыс. особей, а массу в g и t .

При параметрах и начальных условиях, соответствующих состоянию популяции красной оз. Дальнего в предвоенные годы, т. е. когда полностью отсутствовал морской промысел, модель после очень короткого переходного процесса выходит на устойчивый цикл с периодом в 8 лет. При этом воздействие на систему берегового промысла, а также влияние гидрологического режима озера были приняты постоянными во времени. Средние величины численностей популяций при таком функционировании модели не отличались слишком резко от реально наблюдаемых величин, поэтому можно заключить, что модель в известной степени правильно отображает действительность. Собственно созданием дееспособной модели ихтиоценоза оз. Дальнего была решена основная задача настоящей работы — показать возможность моделирования на электронной вычислительной машине не только отдельной изолированной популяции промысловой рыбы, но и целой группы популяций рыб, сопряженных отношениями хищничества и пищевой конкуренции. Дальнейшее относится лишь к выяснению и исследованию некоторых свойств созданной модели.

На рис. 3 показана фазовая диаграмма, характеризующая поведение системы «голец—красная» при различных коэффициентах смертности гольцов (kmG). Следует отметить, что состояние исследуемой системы определяется не двумя, а большим числом обобщенных координат, однако графическое изображение полной фазовой диаграммы весьма затруднительно.

При малой смертности гольцов ($kmG = 0,1$) численность популяции красной не может достигнуть значительной величины и не испытывает существенных изменений во времени. Численность популяции гольцов подвержена в этом случае очень сильным колебаниям. Это объясняется тем, что в периоды малой численности гольцов, несмотря на малое количество жертв, кормовые условия могут быть очень хорошими и вследствие малой естественной смертности популяция гольцов будет быстро увеличиваться. Рост численности гольцов, в свою очередь, вызовет резкое ухудшение условий выкорма и воспроизводства. В результате численность хищников снова снизится и цикл повторится сначала.

С увеличением смертности гольцов ($kmG = 0,2; 0,4; 0,6$) верхний предел их численности снижается, а амплитуда колебаний сокращается, так как воспроизводительная способность гольца, даже при обилии пищи, но в условиях высокой смертности, не может обеспечить достаточ-

но быстрого восстановления численности популяции. С увеличением смертности гольцов как численность популяции красной, так и амплитуда ее колебаний во времени растут.

При очень высокой смертности гольцов ($kmG=0,8$) их численность резко снижается и колебания ее незначительны. В этих условиях воздействие хищника на популяцию красной существенно уменьшается и теряет значение фактора, регулирующего численность популяции красной. Роль ограничителя и регулятора численности красной переходит в этом случае к процессам гибели икры на нерестилищах.

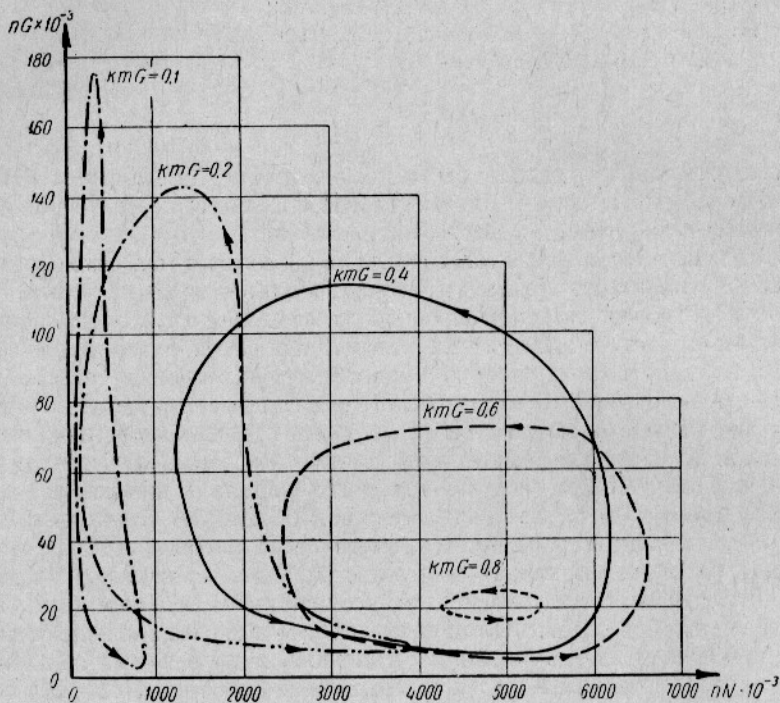


Рис. 3. Фазовая диаграмма системы «голец-красная»

На фазовой диаграмме рассмотренные выше зависимости характеризуются контурами, вытянутыми вдоль оси численности гольцов при малой смертности последних, приближением формы контура к окружности при средней смертности гольцов и контурами, вытянутыми вдоль оси численности красной, при дальнейшем увеличении смертности гольцов.

Похожую, хотя значительно более простую систему взаимодействия типа «хищник—жертва» исследовал Вольтерра (Volterra, 1931), исходя из приложения закона действующих масс к динамике популяций. В рассматриваемой модели применены более близкие к действительности и экспериментально обоснованные зависимости, полученные В. С. Ивлевым (1955). Согласно теории Вольтерра на фазовой диаграмме должны получиться окружности; в нашем же случае наблюдались более сложные по форме замкнутые контуры.

Кроме отношений типа «хищник—жертва», на созданной модели предполагалось исследовать конкурентные взаимоотношения между популяциями красной и колюшки. Однако при принятых параметрах динамику численности этих популяций определяет в первую очередь воздействие на них гольцов. Поэтому изменения во времени численности крас-

ной и колюшки почти синхронны. Возможно, отмеченный факт объясняется также недостаточной подробностью моделирования процессов взаимодействия популяций красной и колюшки с планктоном, населяющим озеро.

При изменении интенсивности рыболовства на модели были получены результаты, подтверждающие теорию оптимального вылова, выдвинутую Ф. И. Барановым [1918 (1961)]. С нарастанием интенсивности промысла выловы сначала увеличивались, затем достигали максимума, после чего резко падали до полного прекращения существования популяции промысловой рыбы (рис. 4).

Следует отметить, что при варьировании параметрами рыболовства на модели достаточно ясно выделилась область таких воздействий промысла на популяцию красной, которые неизбежно приводят к подрыву запасов этой рыбы и в дальнейшем к полному уничтожению.

При оценке полученных результатов необходимо иметь в виду, что в предложенной модели планктон озера описан крайне схематично. Моделирование процессов, определяющих продукцию планктонных организмов, — самостоятельная и сложная задача. Дело не только в специфичности и сложности биологии озерного фито- и зоопланктона, но и в

относительно слабой их изученности, особенно с количественной стороны.

Разработанная модель далека от степени совершенства, позволяющей решать практические задачи эксплуатации рыбных богатств водоемов, в частности оз. Дальнего. Принципиальным недостатком модели является различная степень описания популяций рыб, населяющих озеро (в данном случае моделирование популяции красной проведено более детально, чем популяции гольца и особенно колюшки). Одним из результатов исследования изучаемой системы является вывод о необходимости моделировать (а следовательно, изучать в природе) все популяции сообщества на одном достаточно высоком уровне.

Необходимо подчеркнуть, что отмеченные недостатки характерны только для данной модели, но ни в коем случае не для принципа кибернетического моделирования. Наоборот, предложенный метод непосредственного изложения ихтиологического и гидробиологического материала на языке программ для ЭВМ позволяет моделировать биологические системы любой сложности. Примененный метод моделирования не накладывает каких-либо жестких ограничений на вид связей и структуру моделируемого объекта и тем самым выгодно отличается от метода моделирования биоценозов, разработанного Герфинкелем (Garfinkel, 1962; Garfinkel Sack., 1964), в основе которого лежит схема Вольтерра.

Предлагаемый метод построения моделей в отличие от более подробно разработанного энергетического направления (Винберг, 1962) отражает функциональную сторону существования популяции или биоценоза. Энергетический подход при моделировании популяций и биоценозов совершенно необходим, поскольку он является отражением фундаментального закона природы о сохранении вещества и энергии, однако он недо-

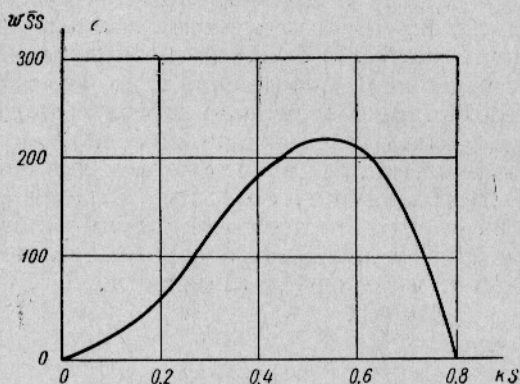


Рис. 4. Зависимость выловов от интенсивности берегового промысла.

статочен для описания всей сложности явления. Гармоническое сочетание энергетического и функционального подходов к водным биологическим (и небологическим) системам — существенное условие для дальнейшего развития моделирования этих систем.

Описанный опыт построения и исследования модели приводит к мысли о реальной возможности обобщения многочисленных разрозненных сведений о процессах, происходящих в озере. Более того подобное обобщение является необходимым для решения актуальной проблемы рационального использования рыбных запасов, а в общем случае — оптимального управления природными ресурсами озера.

Переход к построению обобщающих моделей, предназначенных для решения практических народнохозяйственных задач об использовании рыбных или других природных ресурсов, представляется естественным завершением того периода лимнологических исследований, который характеризуется крайней специализацией и раздробленностью частных исследований. Совершенно ясно, что для построения подобных моделей необходима современная вычислительная техника и согласованная работа коллектива специалистов над количественным изучением связей и закономерностей, определяющих динамику выбранного объекта.

Необходимость возврата к идеям основоположников лимнологии о рассмотрении озера как единого целого, но на совершенно иной теоретической и технической основе, представляет естественный диалектический путь развития лимнологии.

ЛИТЕРАТУРА

Баранов Ф. И. К вопросу о биологических основах рыбного хозяйства. Сб. «Очерки по биологическим основам рыбного хозяйства». М., 1918 (1961).

Винберг Г. Г. Энергетический принцип изучения трофических связей и продуктивности экологических систем. Зоологический журнал, Т. XII. Вып. 2, 1962.

Егорова Т. В., Крогиус Ф. В., Куренков И. И., Семко Р. С. Причины колебаний численности красной р. Озерной. «Вопросы ихтиологии», Т. I. Вып. 3 (20), 1961.

Ивлев В. С. Экспериментальная экология питания рыб. Пищепромиздат, 1955.

Крогиус Ф. В., Крохин Е. М. Об урожайности молоди красной. Известия ТИНРО. Т. XXVIII, 1948.

Крогиус Ф. В., Крохин Е. М. Результаты исследования биологии нерки — красной, состояния ее запасов и колебаний численности в водах Камчатки. «Вопросы ихтиологии», Вып. 7, 1956.

Крогиус Ф. В. О связях темпа роста и численности красной. Труды совещания ихтиологической комиссии АН СССР. Вып. 13, 1961.

Крохин Е. М. О влиянии количества отнерестовавших в озере производителей красной на режим биогенных элементов. ДАН СССР. Т. 123, № 3, 1959.

Лавров С. С. Универсальный язык программирования (АЛГОЛ-60). Изд-во «Наука», 1964.

Лапин Ю. Е. Типы нерестовых популяций и некоторые вопросы методики исследования динамики численности промысловых рыб. «Вопросы ихтиологии». Т. 1. Вып. 4, 1961.

Меншуткин В. В. Метод моделирования в динамике численности рыб. Изд. БНИРО. М., 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 (32), 1964в.

Меншуткин В. В. Модель популяции рыб с переменной структурой пополнения. «Вопросы ихтиологии», Т. 5. Вып. 2 (35), 1965.

Меншуткин В. В. Опыт моделирования стада озерновской красной на электронной вычислительной машине. Труды ВНИРО. Т. 62. 1967.

Никольский Г. В. О биологических основах математического моделирования динамики популяций рыб. «Вопросы ихтиологии», Т. 8. Вып. 4 (29), 1963.

Garfinkel D. Digital computer simulation of ecological systems. «Nature», v. 194, N 4831, 1962.

Garfinkel D. and Sack R. Digital computer simulation of an ecological system, based on a modified mass action law. «Ecology», v. 45, N 3, 1964.

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.

Ricker W. E. «Residual» and kokanee salmon in Cultus lake. J. Fish. Res. Bd. Canada, v. 4, N 3, 1938.

Ricker W. E. Stock and recruitment. J. Fish. Res. Bd. Canada, v. 11, N 5, 1954.

Volterra V. Leçons pour la theorie mathematique de la lutte pour la vie. Paris, 1931.