

УДК 597-152.6:597.553.1 (262.81)

## РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ КАСПИЙСКИХ КИЛЕК И САЛАКИ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА

М.Я. Драпацкий  
Институт АСУ рыбпроект

Бурное развитие рыболовства в последние десятилетия привело к тому, что в традиционных промысловых районах интенсивность использования запасов рыб значительно увеличилась. Вылов некоторых видов уже превышает допустимую величину, и промысел их становится все менее рентабельным. В связи с этим большую актуальность приобретает проблема совершенствования системы управления рыболовством.

В данном случае успешное решение проблемы в значительной степени зависит от достоверности количественных оценок сырьевой базы рыболовства и ее возможных изменений и во многом связывается с применением ЭВМ и математических методов.

Другой аспект этой проблемы заключается в том, что динамический характер промысла и потребность в более тщательном и детальном планировании его диктуют необходимость применения математических методов для оперативной оценки динамики сырьевой базы рыболовства.

Многие вопросы управления рыболовством могут быть решены лишь при помощи абсолютных оценок численности, в то время как ныне для многих популяций принято характеризовать динамику численности рыб в относительных показателях (т.е. с помощью улова на единицу рыболовного усилия, сравниваемого с аналогичными показателями предыдущих или последующих лет промысла).

Отправной при разработке нами метода получения абсолютных оценок численности явилась работа американского исследователя Видрига [5] по моделированию популяций типа калифорнийской сардины, которая обладает многими чертами сходства с каспийскими кильками и салакой Вислинского залива, выбранных нами в качестве примера для иллюстрации возможностей рассматриваемого здесь метода.

Отличительной особенностью этой работы является учет степени доступности стада промыслу — величины, мало изученной и редко принимаемой во внимание исследователями.

Между тем в расчетах численности и прогноза возможного вылова можно допустить существенную ошибку, не вводя поправки на эту величину.

Степень доступности стада промыслу  $\tau$  представляет собой отношение условно выделенной величины начальной численности доступной части стада  $\alpha N$  к общему числу рыб  $\circ N$ , насчитывающихся в стаде в начале расчетного промежутка времени (сезона, года и т.п.).

Анализ факторов, влияющих на степень доступности стада промыслу, показывает, что она является интегральной характеристикой взаимодействия комплекса причин (биологических особенностей вида, рельефа дна, запрета районов промысла, гидрометеорологических условий и т.д.).

Естественно предположить, что для рассматриваемых нами популяций, лов которых ведется на ограниченной акватории, степень доступности оказывает влияние на результаты промысла. Это влияние находит свое отражение в изменении значений коэффициента общей смертности

$$Z = M + F, \quad (1)$$

составляющая которого  $F$  с учетом коэффициента доступности записывается следующим образом:

$$F = -\ln [\tau e^{-qt} + (1-\tau)]. \quad (2)$$

На основе этой зависимости путем ряда преобразований нами получена основная расчетная формула для оценки численности

ности промыслового стада и прогноза величины возможного годового вылова:

$$\frac{C_{t+1}}{C_t} = \frac{[1 - e^{-M} (ze^{-qf_{t+1}} + 1 - z)] \cdot \ln(ze^{-qf_{t+1}} + 1 - z)}{[M + \ln(ze^{-qf_{t+1}} + 1 - z)] \cdot \ln(ze^{-qf_t} + 1 - z)(1 - \rho_{t+1})}, \quad (3)$$

где  $M$  - коэффициент естественной смертности;  
 $F$  - коэффициент промысловой смертности;  
 $f$  - величина рыболовного усилия;  
 $q$  - коэффициент эффективности использования единицы рыболовного усилия;  
 $z$  - коэффициент доступности стада промыслу;  
 $\rho$  - коэффициент, характеризующий отношение величины пополнения к начальной численности.

$t, t+1$  - индексы смежных промысловых сезонов.

Составной частью настоящего исследования является получение значений коэффициентов, входящих в формулу (3) и используемых для расчетов численности.

Истинные значения величины  $z$ , которая изменяется от 0 до 1, невозможно оценить без охвата промыслом ранее недоступной для него части стада. Следовательно, доступность, значение которой менее единицы, редко поддается непосредственной количественной оценке.

Однако, если степень доступности промыслового стада претерпеваает изменения, это немедленно отразится на успешности ведения промысла. В первую очередь, по-видимому, изменится уловистость, а следовательно, и производительность орудия лова и, если физическая улавливающая способность орудия лова останется неизменной, то явные изменения производительности его могут быть обусловлены только изменением степени доступности, которая в свою очередь зависит от колебаний численности и поведения рыб. Таким образом, относительные изменения доступности можно установить, но подсчитать ее абсолютную величину затруднительно. Приходится делать ряд допущений и применять приближенные методы.

Так, предварительно рассмотрев, как изменяется доступность при постоянной естественной смертности и естественная смертность при постоянной доступности, можно заменить кри-



волинейную зависимость, характеризуемую уравнением (2), прямолинейной. Для такого преобразования, рассматриваемого как первое приближение, можно воспользоваться средними оценками  $\bar{M}$ ,  $\bar{c}$  и  $\bar{q}$ .

Значения искомым коэффициентов получены с помощью метода, суть которого заключается в выборе в диапазоне возможных их значений такого сочетания,  $\bar{M}$ ,  $\bar{c}$  и  $\bar{q}$ , при котором кривая рассчитанных по формуле (3) отношений величин уловов  $\frac{C_{t+1}}{C_t}$  каждой пары смежных промысловых сезонов за исследуемый ряд лет ( $T = t_n - t_1$ ) имеет наименьшую сумму квадратов отклонений от эмпирической кривой отношения уловов тех же промысловых сезонов  $\frac{y_{t+1}}{y_t}$ :

$$\sum_{T=t_1}^{T=t_n} \left( \frac{C_{t+1}}{C_t} - \frac{y_{t+1}}{y_t} \right)^2 \longrightarrow \min \quad (4)$$

Исходные данные, использованные для расчетов численности килек, содержали сведения об уловах и усилиях, зафиксированных на промысле с 1956 по 1970 г., и были взяты из ежеквартальной отчетности по добыче каждого типа судов. При этом следует учесть, что статистическая отчетность добывающих организаций построена на учете уловов и рыболовных усилий за календарные годы. Нам же интересуют промысловые сезоны, начало которых можно соразмерить со временем вступления пополнения в промысловое стадо. Поэтому мы привели исходные данные к новому началу отсчета - второму кварталу каждого календарного года.

Поскольку рыболовные усилия различных типов судов несоизмерны, необходимо стандартизировать этот показатель, отнеся его к одному типу судна. Такая стандартизация проведена нами по производительности судов мощностью 150 л.с.

Поиск в области возможных сочетаний искомым коэффициентов, осуществленный на ЭВМ с помощью специальной программы, привел к выбору оптимальной по критерию (4) кривой (рис. 1а), при значениях  $\bar{M} = 0,2$ ;  $\bar{c} = 0,8$ ,  $\bar{q} = 2,8 \cdot 10^{-5}$  для каспийских килек.

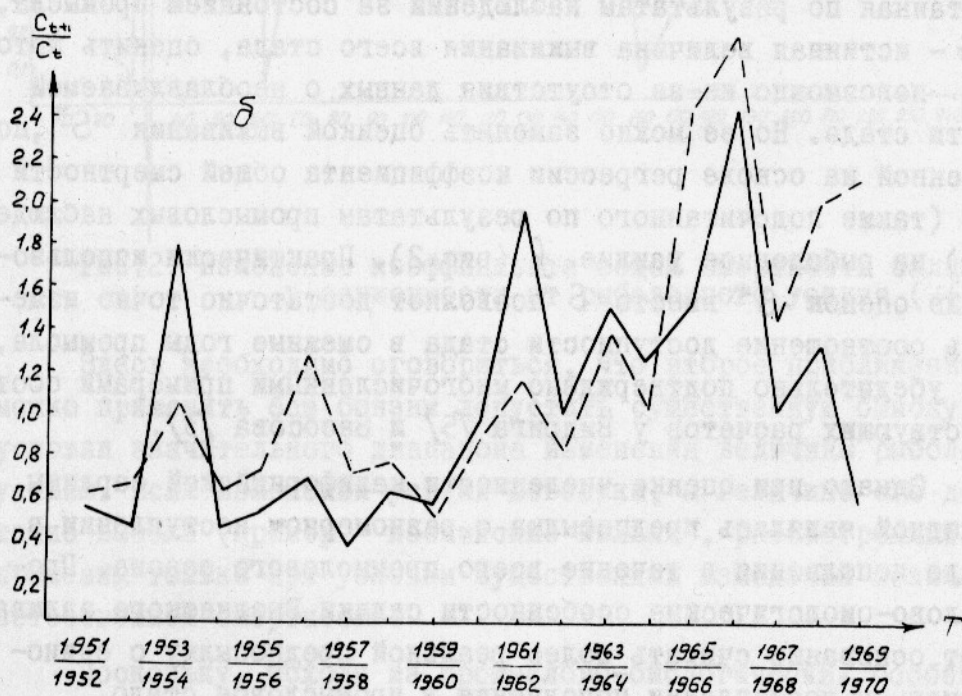
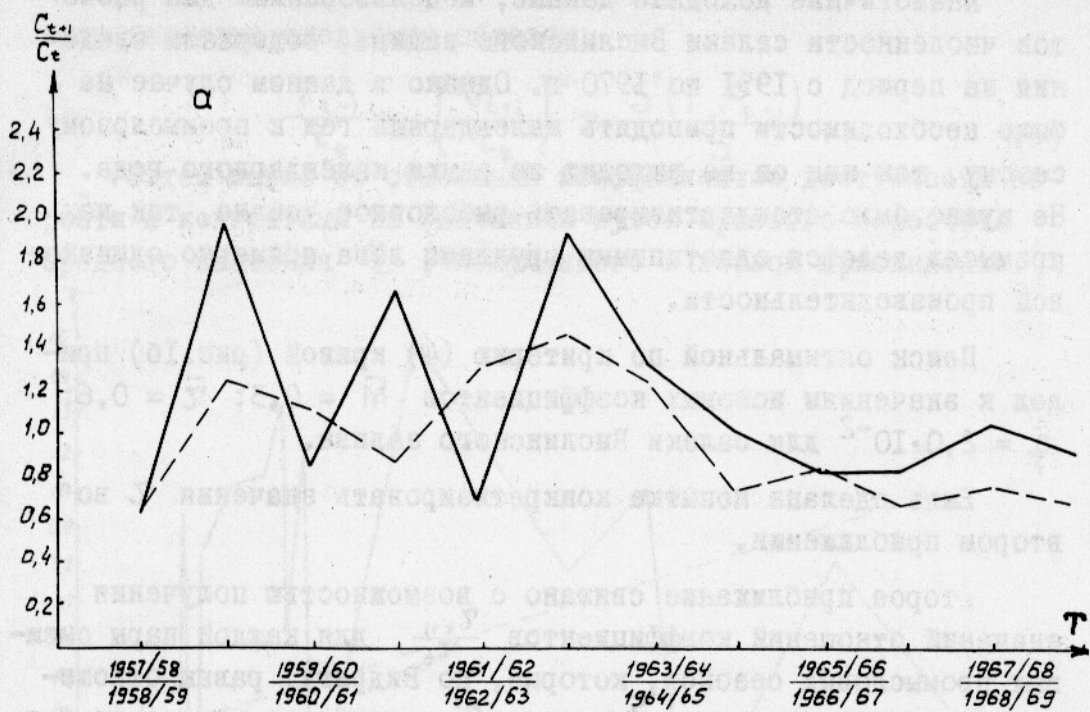


Рис. I. Изменение отношений величин уловов килек (а) и салаки (б) по парам смежных лет промысла

Аналогичные исходные данные, использованные для расчетов численности салаки Вислинского залива, содержали сведения за период с 1951 по 1970 г. Однако в данном случае не было необходимости приводить календарный год к промысловому сезону, так как он не выходит за рамки календарного года. Не нужно было стандартизировать рыболовное усилие, так как промысел ведется однотипными орудиями лова примерно одинаковой производительности.

Поиск оптимальной по критерию (4) кривой (рис.1б) привел к значениям искомым коэффициентов  $\bar{M} = 0,3$ ;  $\bar{z} = 0,6$ ;  $\bar{q} = 2,0 \cdot 10^{-2}$  для салаки Вислинского залива.

Была сделана попытка конкретизировать значения  $z$  во втором приближении.

Второе приближение связано с возможностью получения значений отношений коэффициентов  $\frac{z_{t+1}}{z_t}$  для каждой пары смежных промысловых сезонов, которые, по Видригу, равны отношению величин выживания  $\frac{S_t}{S}$ , где  $S'$  - величина выживания, подсчитанная по результатам наблюдений за состоянием промысла,

$S$  - истинная величина выживания всего стада, оценить которую невозможно из-за отсутствия данных о необлавливаемой части стада. Но ее можно заменить оценкой выживания  $S^*$ , полученной на основе регрессии коэффициента общей смертности  $Z$  (также подсчитанного по результатам промысловых наблюдений) на рыболовное усилие  $f$  (рис.2). Практическое использование оценок  $S^*$  вместо  $S$  позволяет достаточно точно измерить соотношение доступности стада в смежные годы промысла, что убедительно подтверждено многочисленными примерами соответствующих расчетов у Видрига [5] и Засосова [3].

Однако при оценке численности калифорнийской сардины исходной являлась предпосылка о равномерном поступлении в стадо пополнения в течение всего промыслового сезона. Промыслово-омологические особенности салаки Вислинского залива дают основание считать более реальной предпосылку о одновременном поступлении пополнения в промысловое стадо.

С учетом поправки на величину пополнения формула для оценки отношений степени доступности стада промыслу может



быть записана следующим образом:

$$\frac{z_{t+1}}{z_t} \approx \left( \frac{z_{t+1}}{z_t} \right)^* = \frac{S'(1 \rho_{t+1})}{S} \quad (5)$$

Затем можно от отношений коэффициентов доступности перейти к конкретным их значениям путем простого пересчета среднего значения  $\bar{z}$ , полученного в первом приближении.

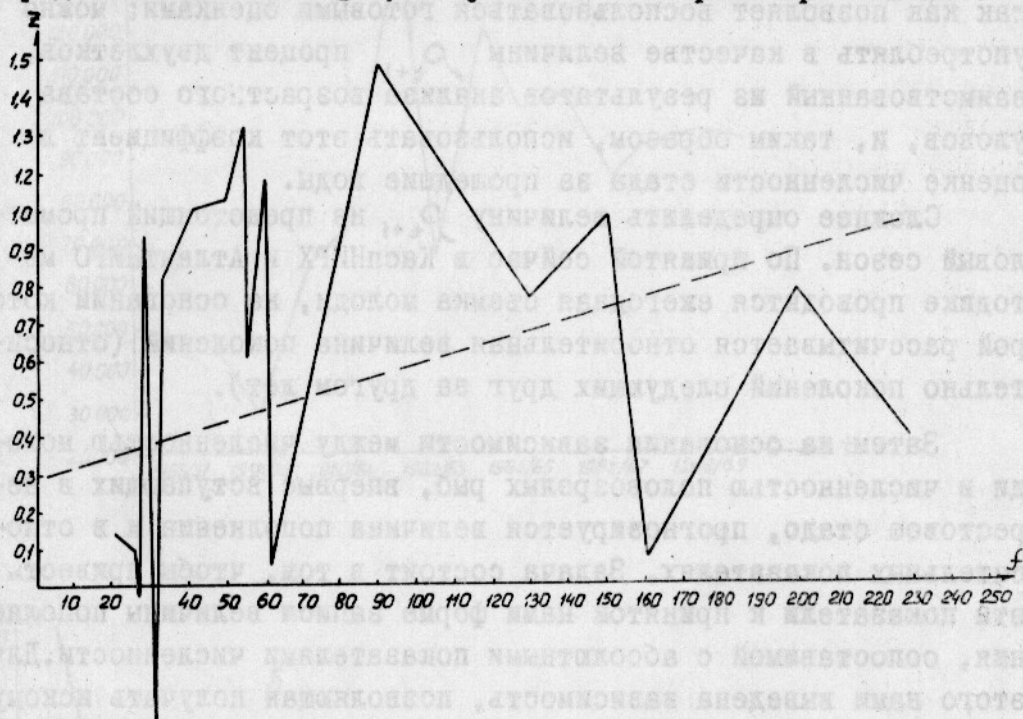


Рис.2. Изменение коэффициента общей смертности салаки (Z) в зависимости от рыболовного усилия (f)

Здесь необходимо оговориться, что второе приближение возможно применить без боязни допустить существенную ошибку при условии значительного диапазона изменения величины рыболовного усилия. Если изменения усилия невелики, а величина его достаточно высока (пример — каспийские кильки), рассмотренный метод применим только при условии существенных изменений величины естественной смертности.

Поскольку, исходя из промыслово-биологических особенностей рассматриваемых популяций, мы принимаем величину  $M \text{ Const}$ , расчет во втором приближении сделан только для салаки Вислинского залива, для которой соблюдаются все перечисленные условия.

Следует подробнее остановиться на расчетах величины пополнения. Пополнение в нашей модели характеризуется показателем, выражающим долю этой величины от начальной численности стада соответствующего года, т.е.  $\rho_{t+1} = \frac{R_{t+1}}{N_{t+1}}$  (здесь  $R_{t+1}$  — абсолютная величина пополнения, а  $N_{t+1}$  — начальная численность стада). Такой способ записи удобен в данном случае, так как позволяет воспользоваться готовыми оценками: можно употреблять в качестве величины  $\rho_{t+1}$  процент двухлетков, заимствованный из результатов анализа возрастного состава уловов, и, таким образом, использовать этот коэффициент в оценке численности стада за прошедшие годы.

Сложнее определить величину  $\rho_{t+1}$  на предстоящий промысловый сезон. По принятой сейчас в КаспНИРХ и АтлантНИРО методике проводится ежегодная съемка молоди, на основании которой рассчитывается относительная величина поколений (относительно поколений следующих друг за другом лет).

Затем на основании зависимости между численностью молоди и численностью половозрелых рыб, впервые вступающих в нерестовое стадо, прогнозируется величина пополнения и в относительных показателях. Задача состоит в том, чтобы привести эти показатели к принятой нами форме записи величины пополнения, сопоставимой с абсолютными показателями численности. Для этого нами выведена зависимость, позволяющая получать искомую величину по результатам оценки численности прошлых лет и по прогнозу относительной величины соответствующих поколений:

$$\rho_{t+1} = \frac{\beta_{t+1}(N_t - \bar{N}_{t-1})}{N_t + \beta_t + \beta_{t+1}(N_t - \bar{N}_{t-1})}, \quad (6)$$

где  $\beta_t$  и  $\beta_{t+1}$  — оценка и прогноз численности следующих друг за другом поколений в относительных показателях;

$\bar{N}_{t-1}$  и  $\bar{N}_t$  — средняя величина остатка соответствующих лет промысла в абсолютных показателях.

Оценки динамики численности исследуемых популяций получены по формуле

$$N_t = \frac{C_t \cdot Z_t}{F_t \cdot (1 - e^{-Z_t})} \quad (7)$$

Результаты расчетов численности каспийских килек за 1956–1970 гг. показаны на рис.3а, салаки Вислинского залива за 1952–1970 гг. — на рис.3б.



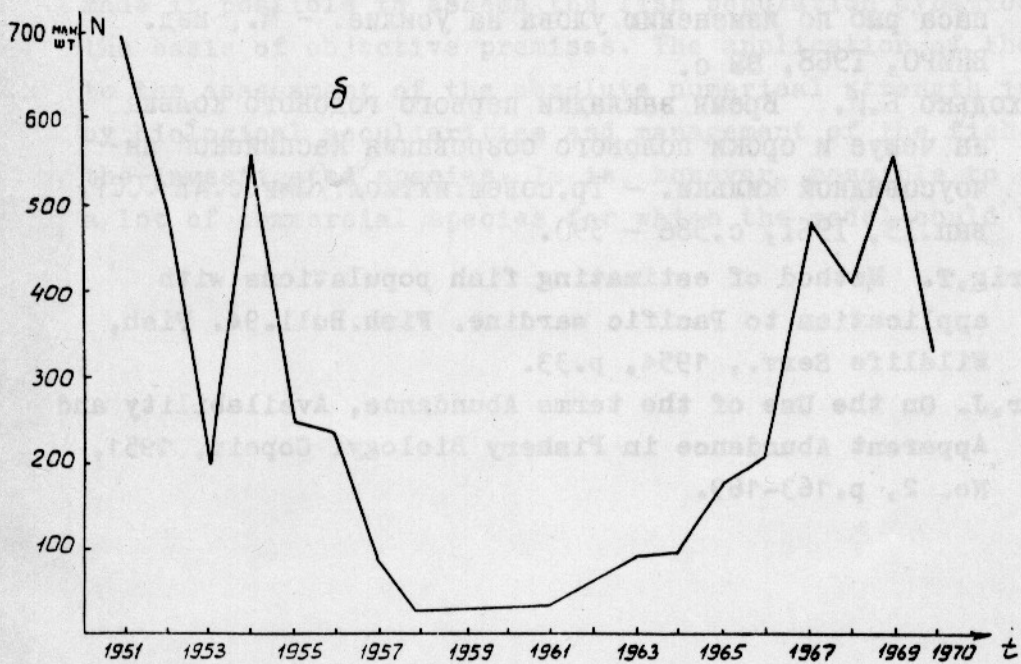
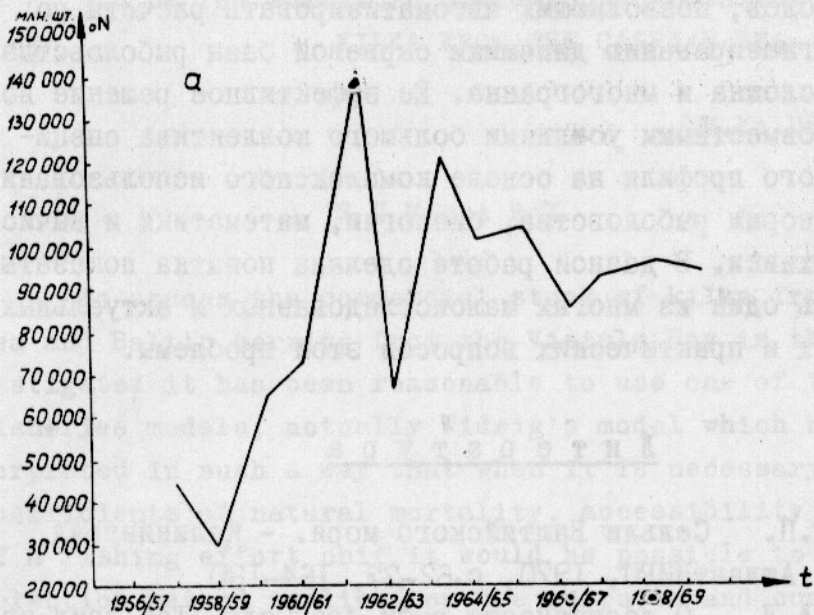


Рис.3. Динамика численности каспийских килек (а) и салаки Вислинского залива (б)

В заключение необходимо отметить, что проблема разработки и последующего внедрения в практику комплекса математических методов, позволяющих автоматизировать расчеты по оценке и прогнозированию динамики сырьевой базы рыболовства, чрезвычайно сложна и многогранна. Ее эффективное решение возможно лишь совместными усилиями большого коллектива специалистов разного профиля на основе комплексного использования достижений теории рыболовства, биологии, математики и вычислительной техники. В данной работе сделана попытка показать и решить лишь один из многих малоисследованных и актуальных теоретических и практических вопросов этой проблемы.

### Л и т е р а т у р а

1. Бирюков Н.П. Сельди Балтийского моря. - Калининград, изд. АтлантНИРО, 1970, с.62-77, 164-180.
2. Дружинин А.Д. О доступности рыбы промыслу.-Тез.докл.на совещ. молодых ученых. М., изд.ВНИРО, 1963,с.9 - 10.
3. Засосов А.В. Теоретические основы способов подсчета запаса рыб по изменению улова на усилие. - М., изд. ВНИРО, 1968, 88 с.
4. Приходько Б.И. Время закладки первого годового кольца на чешуе и сроки полового созревания Каспийской анчоусовидной кильки. - Тр.совещ.ихтиол.комисс.АН СССР, вып.13, 1961, с.386 - 390.
5. Widrig,T. Method of estimating fish populations with application to Pacific sardine. Fish.Bull.94. Fish, Wildlife Serv., 1954, p.33.
6. Marr,J. On the Use of the terms Abundance, Availability and Apparent Abundance in Fishery Biology. Copeia, 1951, No. 2, p.163-169.

THE USE OF A MATHEMATICAL MODEL FOR THE ASSESSMENT  
OF THE NUMERICAL STRENGTH AND POSSIBLE CATCHES OF  
KILKA FROM THE CASPIAN SEA

M.Ya.Drapatsky

S U M M A R Y

To assess the commercial stock of kilka from the Caspian Sea and Baltic herring from the Vistula Bay in the period investigated it has been reasonable to use one of the theoretical fisheries models, actually Widrig's model which has been interpreted in such a way that when it is necessary to find coefficients of natural mortality, accessibility and efficiency of a fishing effort unit it would be possible to apply the selection method realized on the computer and consecutive approximations of the values sought for to reach the optimum magnitude. This has extended opportunities of the model and made it possible to assess the fish population dynamics on the basis of objective premises. The application of the model to the assessment of the absolute numerical strength is limited by biological peculiarities and management of the fishery for the investigated species. It is, however, possible to select a lot of commercial species for which the model could be used.