

УДК 639.2.053

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОСПРОИЗВОДСТВА  
АЗОВСКИХ СУДАКА И ЛЕЩАВ.Г.Дубинина,  
Ю.А.Домбровский

Решению вопросов биологической продуктивности Азовского моря в настоящее время препятствует ограниченность знаний необходимых для количественной оценки влияния среды на живой организм. Уровень знаний в области рыбохозяйственной науки еще не позволяет учитывать результаты суммарного воздействия всех абиотических и биотических факторов на жизненные процессы в море. Поэтому из этих факторов, как правило, выделяются наиболее значимые.

При построении наших моделей мы выбирали те показатели среды, которые в наибольшей мере определяют выживаемость молоди полупроходных рыб. Предлагаемые модели включают аргументы, большая часть которых является гидрометеорологическими характеристиками бассейна, и представляют собой развитие начатых раньше исследований (Дубинина, 1969, Дубинина, Березовский, Попов, 1972).

В данной работе мы попытались установить связи между общими запасами и численностью трех - четырехлетков леща и судака и факторами, их обуславливающими, а также оценить степень влияния каждого параметра.

В качестве математического аппарата использовали метод многомерного регрессионного анализа, успешно применяющийся при выяснении относительной роли отдельных факторов в формировании сложных процессов и в построении количественных многопараметрических зависимостей.

Информационный ряд получен по материалам наблюдений 1923-1973 гг. (исключая годы войны - 1942-1944). Расчеты сделаны на ЭВМ "Одра-1204".

Для отбора существенных факторов использовали критерии Стьюдента и Фишера (Рао, 1968). Предварительно закон распределения используемых факторов проверяли на нормальность по отклонениям выборочных коэффициентов асимметрии  $A$  и эксцесса  $E$  от нулевых значений. Эффективные оценки для этих коэффициентов вычисляли по формулам

$$A = \frac{\sqrt{n(n-1)} m_3}{(n-2) \sqrt{m_2^3}},$$

$$E = \frac{n-1}{(n-2)(n-3)} \left[ (n+1) \left( \frac{m_4}{m_2^2} - 3 \right) + 6 \right],$$

где  $m_k$  -  $k$ -й выборочный центральный момент ( $k = 2, 3, 4$ );  
 $n$  - величина выборки.

Таким образом была исследована зависимость урожайности полупроходных рыб от 18 различных параметров. Было выделено 9 наиболее существенных факторов, влияющих как на эффективность нереста, так и на условия жизни рыб в море.

Были проведены специальные исследования для установления зависимости рыбопродуктивности донских займищ от их площади, продолжительности затопления и температурного режима весны. Наибольшая эффективность размножения наблюдалась в годы со среднепаводочным расходом 2700 м<sup>3</sup>/сек. при продолжительности обводнения поймы не менее 33-48 суток (Дубинина, 1968, 1972). Поскольку даже при благоприятных показателях обводнения займищ результаты нереста в значительной мере лимитируются термическими условиями, подробно исследовали закономерности изменения температуры воздуха и воды и их влияние на урожайность полупроходных рыб (Бойко, 1951, Дубинина, 1968).

Воздействие солёности на эффективность размножения рыб заключается в ограничении их ареалов (Карпевич, 1960 и др.).

К сожалению, мы не располагали надёжными характеристиками многих абиотических и биотических ингредиентов, влияющих на эффективность размножения рыб в Дону (кроме гидрометеорологических), поэтому в большинстве случаев использовали косвенные показатели. Так, для оценки условий нагула рыб в Таганрогском заливе изучали величину солёности воды, которая определяет площади нагула молоди и взрослых рыб.

Для характеристики вертикального водообмена, во многом определяющего газовый режим, состояние грунтов, прозрачность и мутность воды, перенос материальных ресурсов в зону активного фотосинтеза и т.д., использовали такой показатель, как число дней с ветром 8 м/сек и более. Помимо этого, исходя из характера термического режима в зимне-весенний период, учитывали продолжительность преднерестового нагула рыб в море.

В итоге нами были выбраны показатели, отраженные на блок-схемах (рис. 1, 2).

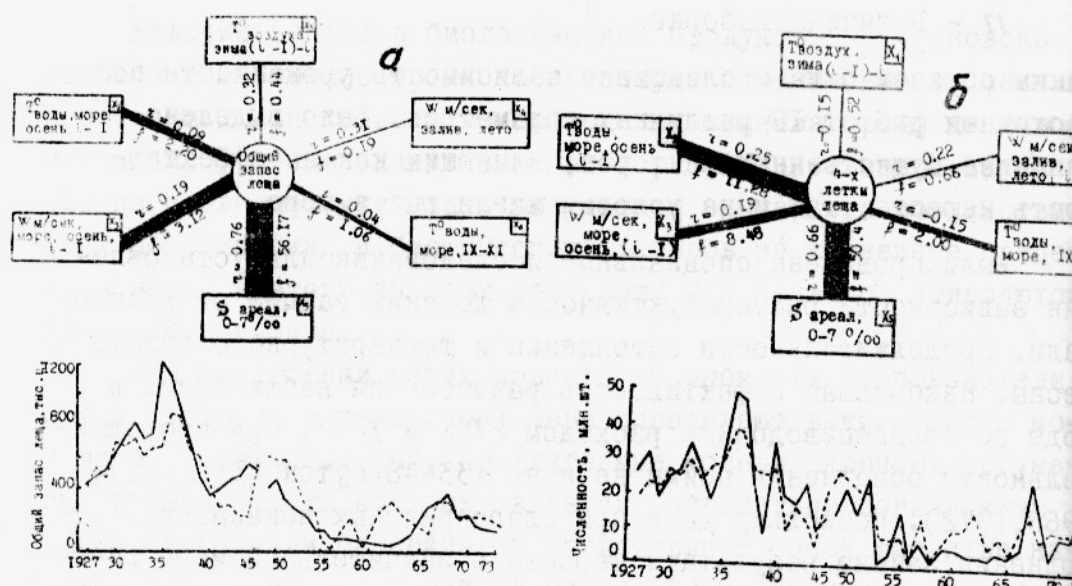


Рис. 1. Блок-схемы статистического моделирования общего запаса (а) и численности четырехлетков (б) леща: — фактическая величина; - - - расчетная.

Как уже говорилось, при построении моделей мы выбрали показатели среды, в наибольшей мере определяющие выживаемость молоди полупроходных рыб. Поскольку преобладающей возрастной группой стада леща являются четырехлетки, в модель вводили гидрометеорологические характеристики, влияющие на эффективность нереста и условия выживания молоди в море в первый год жизни четырехлетков (i-й год).

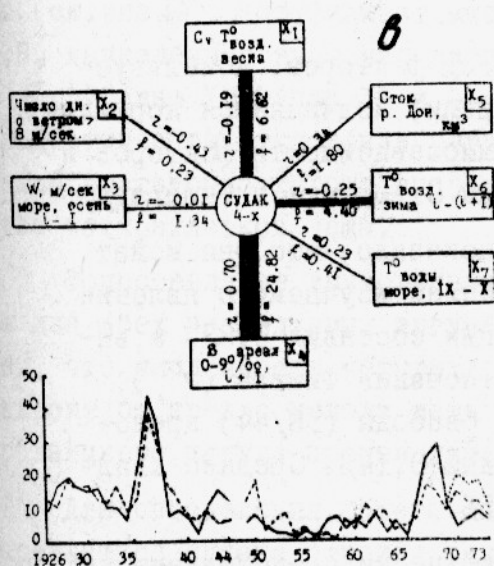
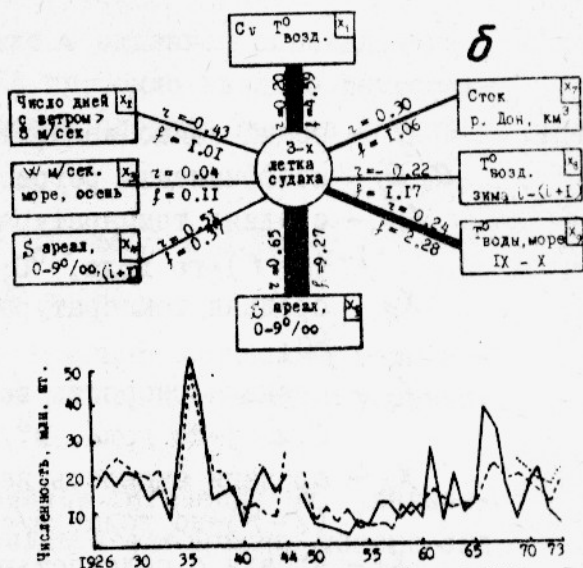
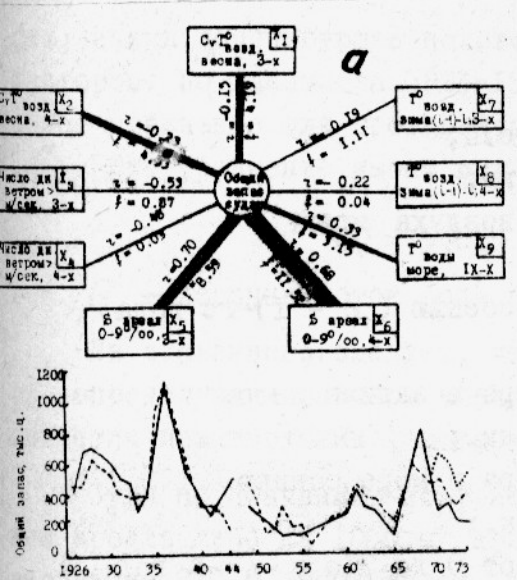


Рис.2. Блок-схема статистического моделирования общего запаса судака (а), численности трехлетков (б) и четырехлетков (в):

— фактическая величина;  
 - - - расчетная;  
 . . . прогнозируемая

Зависимость общего запаса леща (у) от выбранных абиотических и биотических параметров была представлена расширенным уравнением множественной регрессии вида

$$y = a_0 + \sum_{j=1}^6 a_j x_j$$

- где
- $Y$  - общий запас льда, тыс.ц;
  - $a_0, a_j$  - коэффициенты регрессии;
  - $X_1$  - средняя температура воздуха зимой ( $i-1$ )-го года, °С;
  - $X_2$  - средняя температура осенью ( $i-1$ )-го года, °С;
  - $X_3$  - средняя скорость ветра в заливе летом ( $i$ )-го года, м<sup>3</sup>/сек.;
  - $X_4$  - средняя скорость ветра в море осенью ( $i-1$ )-го года, м/сек.;
  - $X_5$  - ареалы с соленостью от 0 до 7‰ в  $i$ -й год, км<sup>2</sup>;
  - $X_6$  - средняя температура воды в море в сентябре ( $i-1$ )-го года, °С.

Оказалось, что распределение всех факторов, используемых для прогнозирования в данной модели, подчиняется нормальному закону, так что для оценок взаимозависимости факторов и качества регрессии применимы критерии Стьюдента и Фишера.

Исследование избранной модели показало, что она может служить достаточно точной аппроксимацией изучаемого явления - коэффициент множественной корреляции составил 0,82, а вычисленное значение дисперсионного отношения Фишера ( $F$ ), равное 12,45, при заданных степенях свободы (38/44) превосходит даже уровень значимости, равный 0,14%. Среднее квадратическое отклонение регрессии - 35%.

Анализ результатов, которые графически представлены на рис.1а, позволяет сделать следующие выводы.

По степени влияния, определенной с использованием величины  $F$  - критерия Фишера с 1 и 44 степенями свободы, исследуемые параметры модели располагаются в такой последовательности: ареалы с соленостью 0-7‰ ( $F = 56$ ), средняя скорость ветра ( $F = 3,1$ ) и средняя температура воды ( $F = 2,2$ ) в море осенью ( $i-1$ ) года.

Когда в модель вводили только величину стока, значимость ее была достаточно высокой, а когда включили ареал рыб с соленостью от 0 до 7‰, он, суммируя влияние стока и солено-

сти, занял доминирующее положение и оказался определяющим фактором. По данным за 1923-1973 гг. было введено регрессионное уравнение для прогнозирования площади ареала нагула  $S_i$ . Это уравнение имеет вид

$$S_i = 545,5 + 27,96Q_i + 0,788S_{i-1},$$

где  $Q$  - весенний сток Дона ( $r = 0,84$ ).

Из сказанного следует, что величина солености воды моря, определяющая размеры ареалов рыб в современных условиях, является лимитирующим фактором.

Судя по значениям коэффициентов регрессии  $Q$  увеличение ареала леща на 1000 м<sup>2</sup> приводит к увеличению общего его запаса на 220 ц. Разумеется, эта оценка носит ориентировочный характер.

Вторую модель строили для численности четырехлетков леща (см. рис. 10). Коэффициент множественной корреляции равен 0,8, вычисленное значение дисперсионного отношения Фишера ( $F$ ) равно 10,9 при 38 и 44 степенях свободы. Среднее квадратическое отклонение регрессии - 35%. Полученное уравнение достаточно хорошо аппроксимирует процесс воспроизводства четырехлетков леща.

Сопоставление вычисленных значений  $F$  - критерия Фишера для всех исследуемых аргументов модели свидетельствует о том, что численность четырехлетков леща в наибольшей мере зависит от ареала молоди леща в  $i$ -й год (год нереста), от предшественного нагула производителей и динамики вод.

Для определения общего запаса и численности трех- и четырехлетков судака строили такие же модели с той только разницей, что в них включали факторы среды, отражающие условия нереста и выживаемости молоди в море поколений трех- и четырехлетков - преобладающих возрастных групп в стаде судака. Кроме того, был введен дополнительный параметр, отражающий изменчивость минимальной температуры воздуха в период нереста (см. рис. 2).

Как показали расчеты, исследуемые модели удовлетворительно описывают фактические изменения в общем запасе и численности трех - четырехлетков судака и характеризуются коэффициентами множественной корреляции, равными соответственно 0,896; 0,766 и 0,800.

Полученные корреляционные связи и достаточно высокие парные коэффициенты корреляции подтвердили правильность построения модели и определили группу факторов, наиболее значимых в процессе формирования урожайности поколений судака. Такими параметрами оказались ареалы рыб, весенний сток Дона, вариации температуры воздуха в нерестовый период и динамика вод.

Все описанные модели были проверены по пятилетнему независимому ряду, т.е. модель строили на базе информации за 1923-1968 гг. и затем проверяли в интервале 1969-1973 г. Расчеты показали, что, хотя тенденция к изменению численности улавливается вычисленными величинами запасов, они оказываются заметно выше фактических. Это свидетельствует о том, что в последние годы на численность полупроходных рыб оказывают влияние некоторые отрицательные факторы, не учитываемые в модели.

С методологической стороны использование линейного регрессионного анализа для прогноза запаса и численности полупроходных рыб осложнено несколькими допущениями, главное из которых сводится к тому, что аргументы исследуемой модели должны быть некоррелируемы между собой. Эти условия зачастую не могут быть выполнены, что, естественно, снижает аппроксимирующую способность получаемых уравнений.

Следуя американским гидрологам (Hariss et al., 1961; Snyder, 1962), мы использовали в работе нелинейные модели, построенные методом ортогонализации, в которых переменные не коррелируются (ортогональны) между собой, а уравнения регрессии выбираются из более широкого класса функций (рис. 3). Независимые переменные, входящие в состав уравнений, нормированы, т.е. представлены в виде разности заданных и средних величин, отнесенной к средним квадратичным их отклонениям:

$$\underline{x}_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{i\text{ср.}}}{\sigma_{\bar{x}_i}}$$

Эти модели имеют общий вид.

$$y = a_0 + \sum_{ijk} a_{ijk} \underline{x}_i \underline{x}_j \underline{x}_k,$$

причем коэффициенты  $a_{ijk}$  отличны от 0 только в одночленах, имеющих наибольшую корреляцию с моделируемым фактором. Качество таких моделей оказывается, как правило, выше ка-

чества линейных моделей. Ортогонализационные модели общего запаса судака, леща и численности четырехлетков леща имеют коэффициенты множественной корреляции, соответственно равные 0,89, 0,84 и 0,85.

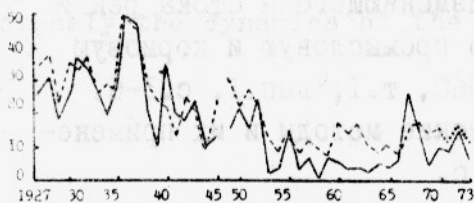
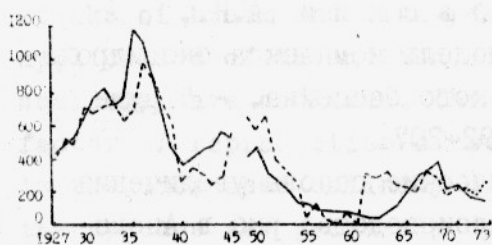
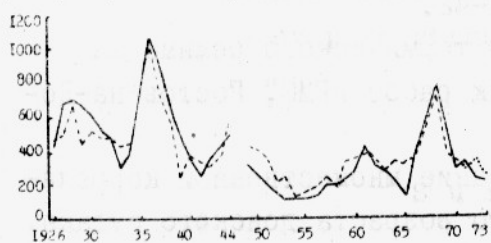


Рис. 3. Эмпирические и теоретические кривые, рассчитанные по методу ортогонализации:

а - общий запас судака ( $R = 0,89$ ); б - общий запас леща ( $R = 0,84$ ); в - численность четырехлетков леща ( $R = 0,85$ ). Условные обозначения те же, что на рис. 2

Кроме того, были построены также номинальные модели 2-й, 3-й и 4-й степеней. При помощи таких моделей исследовали, в частности, зависимость промышленного возврата леща от факторов внешней среды. Удалось построить модель высокого качества ( $R = 0,853$ ), включающую зависимость только от одного внешнего фактора - ареала леща. Уравнение модели имеет вид

$$y = 4,4 + 0,567$$

где  $y$  - величина промышленного возврата леща,

$S$  - ареалы с соленостью воды от 0 до 7‰ в  $i$ -й год.

### З а к л ю ч е н и е

В современных условиях изменчивой среды Азовского моря можно использовать математические модели зависимости урожайности рыб от ряда колеблющихся абиотических факторов. Многомерный регрессионный анализ позволяет выделить ведущие факторы (площадь нагула в море, ограниченная благоприятной соленостью для леща, колебания температуры воздуха в нерестовый период для судака), которые можно использовать при построении более точных прогностических моделей нелинейного типа.



- Б о й к о Е.Г. Основные причины колебания запасов и пути воспроизводства донских судака и леща. - "Труды АзчерНИРО", 1951, т.15, с.17-42.
- Д у б и н и н а В.Г. О влиянии термического режима на урожайность судака. - "Сборник работ РГМО", Ростов-на-Дону, 1968, вып.8, с.155-162.
- Д у б и н и н а В.Г. Использование множественной корреляции для прогноза промыслового возраста донского судака. - "Труды ВНИРО", 1969, т. LXVII, вып. I, с.357-361.
- Д у б и н и н а В.Г., Б е р е з о в с к и й А.Н., П о п о в И.В. Вероятностная модель комплекса биогидрологических характеристик Азовского бассейна. - "Труды ВНИРО", 1972, т. XXXIX, с.192-207.
- Д у б и н и н а В.Г. Гидрологические основы увеличения масштабов естественного воспроизводства рыб в Азово-Донском районе. - "Труды АзНИИРХ", 1972, вып.10, с.41-51.
- К а р п е в и ч А.Ф. Влияние изменяющегося стока рек и режима Азовского моря на его промысловую и кормовую фауну. - "Труды АзНИИРХ", 1960, т.1, вып.1, с.3-6.
- Р а о С.Р. Линейные статистические методы и их применение. М., "Наука", 1968, 547 с.
- H a r r i s, B., A. L. S h a r p, Q. E. C i b b s, W. I. O w e n. An improved statistical model for evaluating parameters affecting water yield of river basins. I. Geophys. Res. Vol. 66, 10, 1961.
- S h y d e r, W. M. Some possibilities for multivariate in hydrologic studies. I. Geophys. Res. Vol. 67, 1962. Febr.

Statistical modelling of reproduction of  
Azov pike-perch and bream.

V.G.Dubinina, Ju.A.Dombrovsky

S u m m a r y

The investigations of the relationship between the stocks of bream and pike-perch and abiotic factors with application of the method of multidimensional regression analysis have confirmed the hypothesis that the decisive factor of reproduction of semi-anadromous species of fish is the increased salinity in the sea. The stock sizes of the species are primarily dependent upon their habitats, that is zones of certain salinity.

The statistical models suggested approximate rather closely the dynamics of the stocks of bream and pike-perch.