

## МНОГОМЕРНО–МНОГОФАКТОРНЫЕ МОДЕЛИ ВЫЖИВАЕМОСТИ СЕГОЛЕТКОВ И ФОРМИРОВАНИЯ РЫБОПРОДУКТИВНОСТИ ВЫРОСТНЫХ ПРУДОВ

**А.И. КОЗЛОВ, Т.В. КОЗЛОВА**

*Полесский государственный университет  
г. Пинск, Республика Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

Принимая во внимание проблемы рыбного хозяйства Беларуси, возникшие в период перехода экономики к рыночным отношениям в результате недостатка ресурсов и изменившихся экономических условий, не следует искать выход из создавшегося положения в использовании известных стандартных технологий. Это касается как практики прудового рыбоводства, так и научных подходов к решению общих и конкретных задач по управлению процессом выращивания рыбных объектов. В частности общеизвестно, что одной из основных задач при выращивании сеголетков рыб является оптимальное управление естественными кормовыми ресурсами выростных прудов. В этом контексте управление рассматривается как проводимое человеком вмешательство в режим водоемов путем изменения отдельных элементов технологии (продолжительность вегетационного периода, кратность внесения удобрений, использование новых стимуляторов развития естественной кормовой базы и т.д.). Вышеназванную задачу можно решить путем построения модели формирования продуктивности рыбоводных прудов, что достаточно точно отражает функционирование их экосистем [1]. В связи с этим разработка математических моделей является одним из путей, позволяющих на основании собранных в рыбоводных хозяйствах данных, выявить определяющее влияние тех или иных факторов на рыбопродуктивность водоемов. Расчет и оптимизация конечных рыбохозяйственных и экономических результатов в зависимости от абиотических и биотических факторов, а также ресурсного снабжения в условиях экономических преобразований могут быть решены путем создания многомерно-многофакторных моделей [2, 3]. Такие корреляционные модели (КМ) позволяют найти объяснение, «насколько количественно изменяется тот или другой результативный показатель при изменении фактора на единицу» [3]. Это позволяет решать и оперативные задачи управления процессом выращивания объектов аквакультуры. Наш [4, 5] и зарубежный опыт [6, 7] подтверждают необходимость использования математических методов и компьютерных систем при решении проблем рыбоводства.

Как известно, «в целом любая модель – это абстракция, приближение к реальности, но не ее точная копия» [3]. Однако, изучая сложные процессы формирования рыбопродуктивности путем многомерного моделирования, можно исключить побочные факторы, влияющие на конечный результат. Это позволяет выявить главные тенденции в формировании продуктивности рыбоводных прудов. При этом представляется возможным сравнение выводов, полученных при математическом моделировании, с результатами гидробиологических и рыбоводных исследований по стандартным методикам. Это в конечном счете позволит определить основные направления научно-исследовательских работ в областях гидробиологии и практики рыбоводства с целью достижения высокой эффективности прудовой аквакультуры.

### МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Многомерно-многофакторные модели строили на основании результатов исследований, проводимых на выростных прудах III зоны рыбоводства, расположенных на территориях Беларуси и России. Рассматривали формирование рыбопродуктивности (ц/га) и выживаемости сеголетков (%) в зависимости от ряда факторов:

$X_1$  – температура воды, °С;  $X_2$  – длительность выращивания, сут.;  $X_3$  – содержание кислорода, мг/л;  $X_4$  – содержание  $CO_2$ , мг/л;  $X_5$  – водородный показатель, рН;  $X_7$  – расход комбикормов, кг/га;  $X_8, X_9$  – соответственно количество внесенных азотных и фосфорных удобрений, кг/га;  $X_{10}, X_{11}$  – соответственно количество внесенных органических удобрений – гидролизных дрожжей и навоза, кг/га;  $X_{12}, X_{13}, X_{14}$  – уровень развития естественной кормовой базы (среднесезонная биомасса соответственно фито-, зоопланктона, зообентоса), кг/га;  $X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}$  – плотность посадки личинок соответственно карпа, белого амура, белого толстолобика, пестрого толстолобика, большеротого буффало, тыс. экз./га;  $X_{20}, X_{21}$  – кондиция личинок рыб соответственно неподрощенных и подрощенных;  $X_{22}$  – степень зарастаемости пруда макрофитами, %;  $X_{23}$  – средняя масса сеголетков, г;  $X_{24}$  – площадь пруда, га;  $X_{25}$  – средняя глубина пруда, м.

Многомерно-многофакторную модель формирования рыбопродуктивности выростных прудов строили с использованием методик И.И. Ленькова [3] и А.С. Бородич [2].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате расчетов по программе MSTAT выявлено, что существенное влияние на рыбопродуктивность прудов оказывают такие факторы, как расход комбикормов ( $RyX_7 = 0,609$ ), уровень развития фитопланктона ( $RyX_{12} = 0,367$ ), а также плотность посадки неподрощенных личинок рыб. С увеличением средней глубины рыбопродуктивность выростных прудов снижается.

КМ после отсева несущественных и мультиколлинеарных факторов имела вид:

$$Y_x = -4,96 + 0,96 X_1 + 0,0015 X_7 - 0,134 X_{10} + 0,029 X_{16} + 0,861 X_{18} + 0,044 X_{13} + 0,61 X_{20} - 0,322 X_{22} + 0,233 X_{24} - 10,03 X_{25}$$

$$R = 0,801 \quad F_1 = 7,05$$

Параметры КМ достоверны при следующих значениях переменных:

$$18 < X_2 < 20,4$$

$$0 \leq X_7 < 953,0$$

$$0 < X_{10} < 30$$

$$0 < X_{16} < 60$$

$$0 < X_{18} < 20$$

$$0 < X_{19} < 50$$

$$0 < X_{22} < 35$$

$$0 < X_{24} < 20$$

$$0 < X_{25} < 1,4$$

Из КМ следует, что при увеличении температуры воды на один градус в пределах от 18,2 до 21,2°C рыбопродуктивность увеличивается на 0,96 ц/га. При увеличении степени зарастаемости макрофитами (до 32,6% акватории пруда) ( $X_{22}$ ) происходит снижение рыбопродуктивности. В свою очередь, увеличение расхода комбикорма ( $X_7$ ), плотности посадки белого амура ( $X_{16}$ ), белого толстолобика ( $X_{18}$ ), а также плотности посадки неподрощенных личинок рыб способствовали росту рыбопродуктивности [8].

КМ выживаемости мальков имела вид:

$$Y_x = -99,8 + 9,25 X_1 - 0,139 X_2 + 0,0004 X_7 + 0,061 X_{13} - 0,128 X_{15} - 195 X_{17} - 0,57 X_{19} + 0,58 X_{22} - 0,37 X_{23} - 0,57 X_{24}$$

$$R = 0,726 \quad F_1 = 4,47$$

Таким образом, благоприятное влияние на повышение выживаемости сеголетков рыб оказывает увеличение температуры воды до 22,4 °C ( $X_1$ ), количества израсходованного комбикорма ( $X_7$ ), увеличение биомассы зоопланктона ( $X_{13}$ ) и возрастание степени зарастаемости прудов макрофитами ( $X_{22}$ ).

Снижение выживаемости сеголетков имеет место при увеличении плотности посадки личинок карпа ( $X_{15}$ ), белого толстолобика ( $X_{17}$ ) и большеротого буффало ( $X_{19}$ ), а также при возрастании площади пруда ( $X_{24}$ ).

При анализе результатов, полученных по программе MSTAT, обращает на себя внимание значительная зависимость величины рыбопродуктивности выростных прудов от роста плотности посадки неподрощенных личинок рыб и связанного с этим увеличения расхода комбикормов. Из этого вытекает, что прирост массы рыбы в основном зависит от плотности зарыбления и количества внесенного в водоем искусственного корма.

Таким образом, в условиях высокоинтенсивного ведения прудового хозяйства снижается доля естественных кормов в образовании общей рыбопродуктивности. Это не может не сказаться на ухудшении качества выращиваемых сеголетков, так как в начальный период выращивания имеет очень важное значение их обеспеченность кормовыми гидробионтами [9]. Так, не только белок водных беспозвоночных обладает высокой физиологической ценностью, но и другие их питательные вещества играют важную роль в жизнедеятельности молоди рыб. Например, жир, содержащийся в естественной пище, играет заметную роль в предохранении сеголетков карпа от жаберного некроза [10]. Кроме того, в условиях ведения высокоинтенсивного рыбоводного хозяйства велико значение естественной кормовой базы прудов и в повышении эффективности использования сеголетками искусственных кормов. Известно, что обеспеченность молоди карпа естественными кормами даже в количестве 0,1% от массы рыб активизирует процесс потребления и усвоения комбикорма, в результате чего снижаются его затраты. Это объясняется тем, что кормовые беспозвоночные необходимы молоди рыб не только для покрытия абсолютной потребности в белке, но также и для повышения ценности протеина искусственных кормов, имеющего растительное происхождение.

Результаты наших исследований, которые были получены с помощью моделирования параметров абиотических и биотических факторов формирования продуктивности выростных прудов во многом совпадают с выводами Л.В. Камлюк [11], полученными в результате анализа архивных материалов Упррыбхоза БССР, характеризующих основные средства интенсификации и результаты рыбоводства в рыбоводных прудах Бе-

ларуси за период с 1946 по 1989 год. Так, на основании проанализированных автором данных сделан вывод о тенденции уменьшения доли естественной рыбопродуктивности выростных прудов от 100 до 17%. Делается вывод о превращении прудового рыбоводства из автохтонной культуры, основанной на трансформации первичной продукции консументами, в аллохтонную, формируемую путем внесения органики искусственных кормов. Это негативно отражается на всей прудовой экосистеме, в результате чего наблюдаются резкие перепады содержания кислорода в воде, его утренний дефицит, возникновение экологических токсикозов рыб, что в конечном итоге ведет к снижению рыбопродуктивности прудов. Более поздние исследования того же автора показали, что главным путем, приводящим к повышению экологической эффективности прудовых экосистем с аллохтонным типом рыбоводства, является кардинальное улучшение качества искусственных кормов и методов их рационального использования.

Как известно, практически единственным источником первичной продукции в водоемах служит фотосинтез водных растений. При этом главную роль в продуцировании органического вещества играет фитопланктон. Планктические водоросли являются основной пищей для ветвистоусых ракообразных, представляющих одну из важнейших групп зоопланктона выростных прудов. В прудовых экосистемах фито- и зоопланктон органически связаны друг с другом. При этом интенсивность фотосинтеза водорослей планктона стимулируется увеличением численности зоопланктеров, которые служат пищей для выращиваемых рыб. Личинки хирономид, являющиеся ведущей группой бентических беспозвоночных прудов, также в основном питаются водорослями фитопланктона и бентоса, которые по своему видовому составу мало различаются.

Обнаружившаяся зависимость величины рыбопродуктивности от уровня развития водорослей планктона подтверждает высказанное Г.Г. Винбергом предположение об эффективной утилизации кормовыми гидробионтами продукции фитопланктона [12]. Кормовые беспозвоночные зоопланктона и зообентоса, потребляя низшие водоросли, увеличивают свою численность и биомассу и служат полноценным кормом для сеголетков рыб. Это в конечном счете отражается на количестве и качестве выращиваемого рыбопосадочного материала. Таким образом, существенное влияние уровня развития фитопланктона на рыбопродуктивность выростных прудов, выявленное в результате построения КМ вполне объяснимо и подтверждается ранее проведенными гидробиологическими исследованиями на рыбоводных прудах.

## ВЫВОДЫ

Сравнение направленности влияния факторов позволяет сделать вывод о том, что повышение выживаемости сеголетков и увеличение рыбопродуктивности прудов требует различных подходов и предъявляет различные требования к важнейшим биопараметрам. Если рост выживаемости мальков увеличивается с уменьшением площади пруда и ростом зарастаемости, то повышение рыбопродуктивности связано с увеличением площади прудов и снижением их зарастаемости. Положительное влияние на рост рыбопродуктивности и выживаемость сеголетков оказывает повышение плотности посадки белого амура и пестрого толстолобика.

Рост выживаемости молоди при уменьшении площади прудов и увеличении их зарастаемости вполне объясним. Известно, что наибольший отход рыб наблюдается в личиночный период их жизни, когда важнейшими факторами, благотворно влияющими на выживаемость личинок, являются температура воды, концентрация растворенного в воде кислорода и обеспеченность естественной пищей. Оптимальных условий жизнедеятельности рыб в начальный период их роста наиболее легко достичь именно в малых по площади прудах с небольшими глубинами, когда вода хорошо прогревается. При этом важным источником кормовых беспозвоночных является мягкая подводная растительность, имеющаяся в прудах, где обитают в большом количестве гидробионты фитофильной фауны.

Увеличение рыбопродуктивности выростных прудов при расширении их площадей объясняется ростом кормовых угодий и улучшением трофических условий для сеголетков. Снижение зарастаемости водными макрофитами увеличивает доступность гидробионтов для уже подросших рыб, что положительно отражается на условиях их питания, а, следовательно, и на продуктивности выростных прудов, так как известно, что степень доступности пищи во многом определяет продуктивность водоема.

Положительно сказавшееся на росте выживаемости молоди и рыбопродуктивности выростных прудов увеличение плотности зарыбления личинками растительноядных рыб при их совместном культивировании с карпом еще раз свидетельствует о целесообразности выращивания сеголетков в поликультуре, что подтверждается и другими исследованиями [13].

Исходя из анализа направленности влияния факторов можно прийти к выводу о необходимости достижения высокой выживаемости личинок рыб, служащей предпосылкой достижения высокого уровня рыбопродуктивности выростных прудов. Наименьший отход личинок можно обеспечить при их подращивании в относительно небольших мальковых прудах, так как именно личиночный период является наиболее ответственным в жизни рыб, когда происходит кардинальная морфоэкологическая перестройка их организма. В таких прудах площадью 0,1-1,0 га при средней глубине 0,5-1,0 м и засеве ложа вико-овсяной смесью создаются благоприятные

ятные термические и трофические условия для выживания личинок рыб. Этому в значительной степени способствует обильная фитофильная фауна гидробионтов залитых всходов вики и овса, которыми засевают ложе прудов перед подращиванием личинок. Подрастив личинок до необходимой кондиции и в достаточном количестве, можно с высокой степенью надежности прогнозировать высокую рыбопродуктивность выростных прудов.

Таким образом, моделирование параметров абиотических и биотических факторов формирования продуктивности выростных прудов показало, что тщательное соблюдение технологии выращивания сеголетков, включающее в себя обязательное подращивание молоди и соблюдение мероприятий по повышению рыбопродуктивности прудов с использованием поликультуры, является путем повышения производства качественного рыбопосадочного материала в необходимом количестве. Различные подходы и требования к основным биопараметрам для достижения высоких результатов выживаемости сеголетков и продуктивности прудов, выявленные с помощью КМ, свидетельствуют об актуальности выдерживания требований выращивания рыбопосадочного материала на всех его этапах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Меншуткин, В.В. Моделирование как средство исследования продуктивных водных сообществ // Методы определения продукции водных животных / В.В. Меншуткин. – Минск, 1968. – С. 158–159.
2. Бородич, С.А. Эконометрика / С.А. Бородич. – Минск: Новое знание, 2001. – 408 с.
3. Леньков, И.И. Экономико-математическое моделирование экономических систем и процессов в сельском хозяйстве / И.И. Леньков. – Минск: Дизайн ПРО, 1997. – 304 с.
4. Козлов, А.И. Многомерная модель формирования рыбопродуктивности выростных прудов / А.И. Козлов, И.И. Леньков // Модельные программы реструктуризации и реформирования АПК: Материалы международной научной конференции, г. Горки, 15–17 марта 2001 г. – Горки, 2001. – С. 109–112.
5. Козлов, А.И. Моделирование параметров абиотических и биотических факторов формирования продуктивности выростных прудов / А.И. Козлов, И.И. Леньков // Европейская аквакультура и кадровое обеспечение отрасли: Материалы Международного симпозиума, Горки, 29-30 марта 2001 г. – Горки, 2001. – С. 9–12.
6. Киселев, А.Ю. Новый подход к организации региональной системы аквакультуры на базе использования безотходных технологий / А.Ю. Киселев, В.Н. Коваленко, В.Н. Борщев, Е.В. Филатов. – Минск, 1998. – С. 152–158.
7. Sieg, S. Feierlicher Abschluss der Fischwirtschaftsmeisterausbildung an der Fischereischule in Königswartha am 21. Januar 2000 / S. Sieg. // Fischer u. Angler in Sachsen. – 2000. – №1. – S. 4.
8. Козлов, А.И. Пути повышения продуктивности прудовых экосистем / А.И. Козлов. – Горки, 2003. – 204 с.
9. Müller, W. Empfehlung zur höchstmöglichen Förderung und Nutzung der Naturnahrung in Kraftfutteraufwandes / W. Müller // Z. Binnenfischerei DDR. – 1983. – В. 30. – № 7. – S. 215–218.
10. Ledig, A. Fischgesundheitliche Betreuung der Pelletintensivteiche mit technischer Belüftung / A. Ledig // Binnenfischerei DDR. – 1984. – В. 31. – № 8. – S. 228–231.
11. Камлюк, Л.В. Рыбопродуктивность и средства интенсификации прудового рыбоводства Республики Беларусь за послевоенный период / Л.В. Камлюк // Современное состояние и перспективы развития аквакультуры: Материалы международной научно-практической конференции, г. Горки, 7–9 декабря 1999 г. – Горки, 1999. – С. 20–21.
12. Винберг, Г.Г. Удобрение прудов / Г.Г. Винберг, В.П. Ляхнович. – М.: Пищевая промышленность, 1965. – 271 с.
13. Кончиц, В.В. Растительные рыбы как основа интенсификации рыбоводства Беларуси / В.В. Кончиц. – Минск: Хата, 1999. – 272 с.

## MULTIVARIATE-MULTIFACTORIAL MODELS OF SURVIVAL RATE OF UNDERYEARLINGS AND OF NURSERY PONDS EFFICIENCY FORMING

*A.I. KOZLOV, T.V. KOZLOVA*

### *Summary*

The authors carried out the modeling of parameters of abiotic and biotic factors of formation of the efficiency of nursery ponds. According to the researchers the correlation models have revealed various approaches and requirements to the basic bioparameters for achievements of good results of survival rate of underyearling and ponds efficiency.

*Поступила в редакцию 18 сентября 2008 г.*