

ТЕХНИКА ИЛИМДЕРИ. КУРУЛУШ
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. СТРОИТЕЛЬСТВО
TECHNICAL SCIENCE. CONSTRUCTION

Комилов Ф.С., Косимов И.Л.

**БАЛЫКТЫН ҮЧ ТҮРҮ МЕНЕН КӨЛМӨ ЭКОСИСТЕМАСЫНЫН
 КОНЦЕПТУАЛДЫК МОДЕЛИ**

Комилов Ф.С., Косимов И.Л.

**КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЭКОСИСТЕМЫ ПРУДА
 С ТРЕМЯ ВИДАМИ РЫБ**

F.S. Komilov, I.L. Kosimov

**CONCEPTUAL MODEL OF A FISHPOND ECOSYSTEM
 WITH THREE TYPES OF FISH**

УДК: 574.5 (043.2)

Статья посвящена разработке концептуальной модели процессов, происходящих в экосистеме рыбоводного пруда. Состояние экосистемы определяется концентрацией 15 переменными. В схему модели введены три вида рыб – карп, белый толстолобик и белый амур. Исходя из кормовой базы рыб и круговорота веществ в экосистеме пруда, в модель включены остальные 12 переменные. В качестве внешних условий выбраны температура воды и интенсивность солнечной радиации. Включены пять управляющих функций, характеризующие внесение искусственного корма и минеральных удобрений.

Ключевые слова: рыба, рыбоводный пруд, карп, белый толстолобик, белый амур, экосистема, моделирование, концептуальная модель.

The article is dedicated to conceptual modeling of the processes, occurring in fishpond ecosystem. The situation ecosystem is defined concentration 15 variable. In scheme of the models are incorporated three types of fish - carp, white silver carp and white amur. Based on the food supply of fish and the cycle of matter in the ecosystem of the pond to the model included the remaining 12 variables. As external conditions selected water temperature and solar radiation intensity. They are enclosed five controlling functions, characterizing contributing artificial stern and mineral fertilizers.

Key words: fish, fish pond, carp, silver carp, white amur, ecosystem, modeling, conceptual model.

Проблема комплексного использования рыбных ресурсов в Таджикистане насчитывает уже несколько десятилетий. С появлением крупных водохранилищ (Кайраккумское, Нурекское) в республике начал активно развиваться рыбный промысел. Особенно большие объёмы промышленной ловли в республике наблюдались в 70-80-е годы двадцатого столетия, когда добывалось до 600 тонн рыбных ресурсов в год [1, 2].

Для удовлетворения населения республики белковой пищей, по течению наиболее крупных рек – Пянджа и Вахша на непригодных для выращивания

сельскохозяйственных культур землях, были созданы рыбоводные пруды. В этих прудах вначале выращивали только одни разновидности карпа, что оказалось совершенно недостаточным. Затем с Дальнего Востока были завезены два новых для этих хозяйств вида рыб – белый амур и белый толстолобик.

Среди всевозможных водоёмов именно рыбоводные пруды являются наиболее удобными объектами для выращивания и управления рыбной популяцией. Как правило, целью оперативного управления биологическими процессами экосистемой рыбоводного пруда заключается в получении высокой конечной продукции и снижения затрат на её производство на основе наиболее полного использования их продукционно-биологических особенностей.

Для моделирования экосистемы рыбоводного пруда необходимо знать, как в ней протекают биологические, химические, физические и иные внутренние процессы. Моделирование невозможно осуществлять, также, без детального знания всех трофических уровней, начиная от микробиологических процессов и заканчивая, рыбы. А для получения адекватной биологическим процессам концептуальной модели пруда необходимо умение выделить основные из них, на базе которых развиваются все дальнейшие процессы трансформации вещества в экосистеме. Поэтому в комплекс модулей экосистемы рыбоводного пруда надо включать те структурные элементы трофических цепей, которые в той или иной степени могут изменять в нежелательном направлении или лимитировать протекающие биологические процессы.

Комплекс модулей высокопродуктивной экосистемы рыбоводного пруда, которая составляет его блок-схему, на основе моделирования биологических процессов даст возможность опера-

тивно прогнозировать и учитывать последствия различных режимов управления.

Получение высокой рыбопродуктивности можно достигнуть путём подбора видового состава рыб, которые могли бы максимально использовать высокопродуктивную кормовую базу рыбоводного пруда. Наиболее полно поставленной задаче отвечает поликультура рыб. Обычно в поликультуре выращивается карп, белый и пестрый толстолобик, белый амур, буффало. Принято считать, что это соотношение видов оптимально из-за наиболее полного использования ими естественной кормовой базы. Действительно белый толстолобик использует фитопланктон, пестрый – зоопланктон, карп и буффало – бентос, белый амур – макрофиты. Однако, как отмечает В.П. Митрофанов [3], белый толстолобик, изымая продукцию первого трофического уровня, не может не влиять на последующие звенья трофической цепи, тем самым обедняя естественный кормовой рацион сазана. Хотя эти высказывания относятся к естественным водоемам и водохранилищам, но, видимо, они правомерны и для рыбоводных прудов.

В экспериментах, проведенных на опытном рыбоводном пруду рыбхоза имени А. Джамии Хатлонской области Республики Таджикистан в 1985-1987 гг. показано, что высокопродуктивная экосистема рыбоводного пруда при нормативных посадках белого толстолобика позволяет получить высокий урожай всего комплекса посаженных видов рыб (1986 г. – 50 ц/га). При увеличении плотности посадок белого толстолобика в 1987 году общая продуктивность посаженных в пруд рыб (49 ц/га) несколько уменьшилась по сравнению с 1986 годом [4].

Следовательно, рыбопродуктивность пруда теснейшим образом связана с продукцией органического вещества за счет фотосинтеза фитопланктона и поэтому, во всех случаях, плотности

посаженных рыб должен соответствовать уровню первично-продукционных процессов.

Как правило, при построении концептуальной модели первоочередной задачей является выбор переменных. В нашем случае, с одной стороны, для оценки рыбохозяйственных возможностей пруда требуется подробное описание как рационов, так и трофических взаимодействий между различными видами рыб и между рыбами и другими компонентами экосистемы. С другой стороны, для описания других процессов происходящих в рыбоводном пруде, требуется достаточно детальное представление о протекающих в нём гидробиологических процессов.

Управление экосистемой и поддержание ее на высокопродуктивном уровне достигается за счет внесения в пруд органических и минеральных удобрений, а также кормовых растений. Неупорядоченное внесение органико-минеральных удобрений отрицательно сказывается на всей экосистеме и, в конечном счете, на рыбопродукции пруда.

Схема модели, в которой учтены все вышеизложенные доводы биологических основ концептуального моделирования высокопродуктивной экосистемы макрофитно-рыбоводного пруда, приведена на рис. 1.

Как видно, схема достаточно простая, но в нее вошли все необходимые компоненты, с которыми связано функционирование экосистемы пруда. По сравнению с известными схемами [5], уделена соответствующая роль деятельности бактерий и тем самым дифференцирована функция детрита. В некоторых работах, например [6], посвященных исследованию и имитационному моделированию экосистем рыбоводных прудов, рассмотрены только два вида рыбы – белого толстолобика и карпа. Излюбленным кормом растительноядного белого толстолобика является фитопланктон, а плотоядного карпа – бентосные организмы.

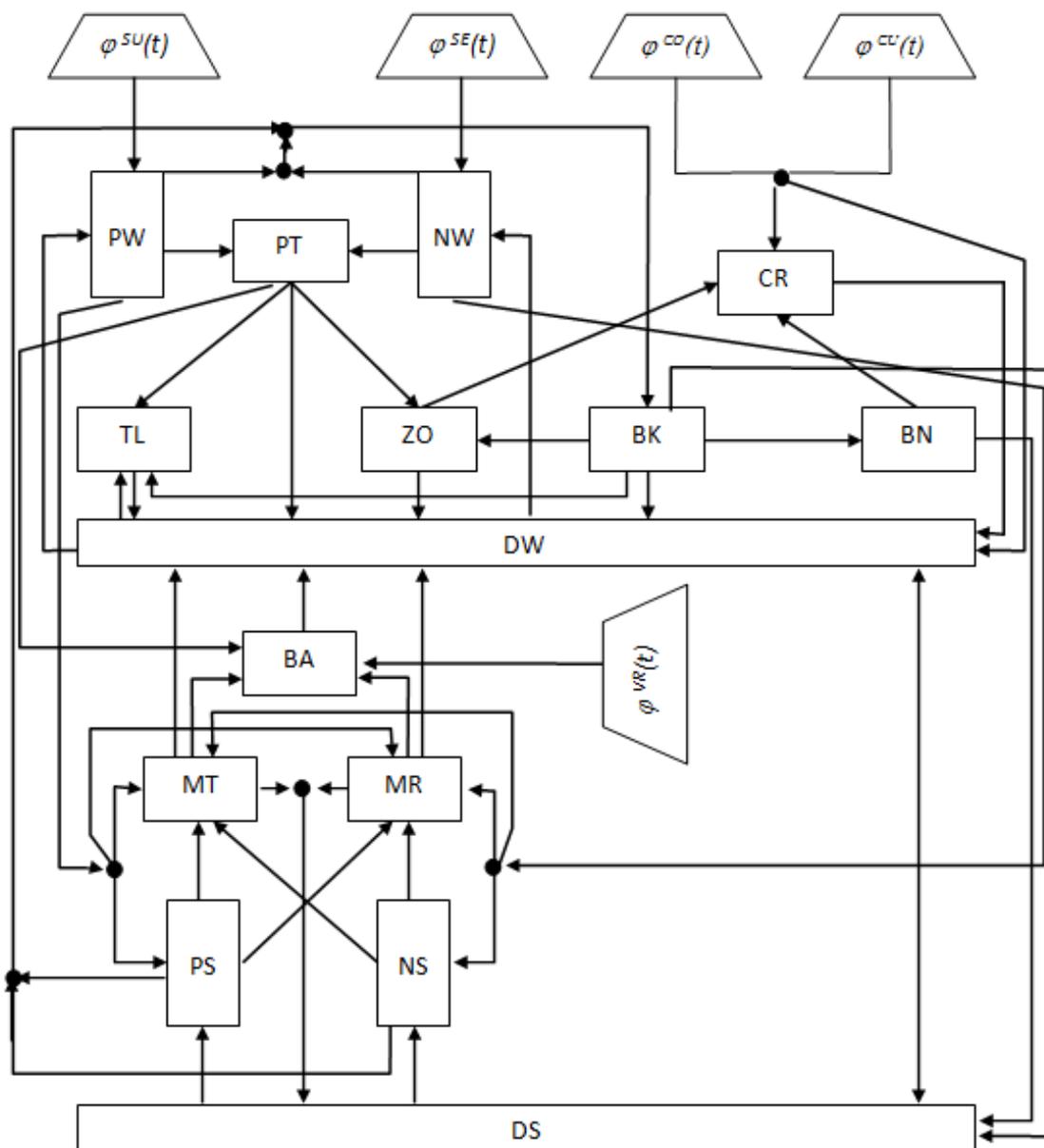


Рис. 1. Концептуальная модель экосистемы макрофитно-рыбоводного пруда.

Данная концептуальная модель от других моделей, исследующих экосистем рыбоводных прудов, прежде всего, отличается тем, что здесь впервые особую роль уделена белому амуру, излюбленным кормом которого являются макрофиты. С включением макрофитов в модели появляется необходимость рассмотрения процесса обмена концентраций водных компонентов экосистемы с соответствующими их донными компонентами, т.е. приходится рассмотреть процессов седиментации и диффузии вещества. Поэтому, в данном случае, переменные модели должны быть выбраны так, чтобы можно было бы оценить важную роль макрофитов в общей динамике экосистемы пруда и возможности их использования в качестве источников корма рыб.

Таким образом, получение новых теоретических знаний в области моделирования (концептуального и математического), обобщение и систематизации накопленных наших представлений о механизмах функционирования экосистем рыбоводных прудов и экспериментальное обнаружение новых механизмов их функционирования привело к необходимости построения новых, более совершенных моделей их экосистем. В данном конкретном случае, при разработке концептуальной модели макрофитного рыбоводного пруда с белым амуrom учитывались следующие соображения:

- так как в процессе эволюции экосистемы рыбоводного пруда постоянно происходит смена лимитирующих факторов, то в модели должны быть описаны круговороты нескольких биогенных

элементов, таких как углерода, азота, фосфора и т.д., причем как в воде, так и в осадках.

• поскольку в общем биогеохимическом круговороте рыбного пруда весьма большую роль играет взаимодействие между водой и осадками, то математическая модель должна содержать адекватное описание этого взаимодействия, как с гидрологической, так и с экологической точек зрения.

В схему модели (рис. 1) введены три вида рыб – карп (*CR*), белый толстолобик (*TL*) и белый амур (*BA*). Хотя остальные виды (пестрый толстолобик, буффало и др.) в определенной степени влияют на протекающие в пруду биологические процессы, но не в такой мере, чтобы существенным образом они могли что-то изменить, т.к. среди общего числа карпа, белого толстолобика и белого амура их численность сравнительно невелика.

Исходя из кормовой базы рыб и учитывая круговорот вещества в экосистеме пруда, в модель также включены: *MT* – полупогруженные макрофиты, *MR* – погруженные макрофиты, *PT* – фитопланктон, *ZO* – зоопланктон, *BK* – бактерий и *BN* – бентос. Лимитирующими биогенными элементами роста и развитие фитопланктона и макрофитов в экосистеме предполагаются *PW* и *PS* – суммарный неорганический фосфор в воде и в осадках, *NW* и *NS* – суммарный неорганический азот в воде и в осадках, соответственно. Поскольку, как правило, в экосистемах рыбных прудов углерод не лимитирует продукционного процесса, но при этом является основной по весу составляющей биомассы, то, введя обозначения *CW* и *CS* – суммарный неорганический углерод в воде и в осадках, соответственно, его потребление в модели мы учитываем косвенно. Циклы биогенных элементов, и в целом круговорот веществ в экосистеме рыбного пруда, замыкается через отмершую органику, т.е. детрит (*DW* – детрит в воде, *DS* – детрит в осадках), которая разлагается вновь до биогенных элементов под действием бактерий и, кроме того, входит в число вынужденного рациона толстолобика. И таким образом, в концептуальной модели учтены все три основных трофических уровня: биогенные элементы, продуценты и консументы.

В качестве внешних условий (входных функций модели), определяющих все процессы в экологической системе, выбраны температура воды (*T*) и

интенсивность солнечной радиации (I_0) на поверхности водоема. Включены также пять управляющие функции, характеризующие внесение искусственного корма ($\varphi^{CO}(t)$ – комбикорм, $\varphi^{CU}(t)$ – куколки тутового шелкопряда, $\varphi^{R}(t)$ – кормовые растения) и минеральных удобрений ($\varphi^{SU}(t)$ – суперфосфат, $\varphi^{SE}(t)$ – аммиачная селитра).

Таким образом, мы получили 15 фазовых переменных: карп – *CR*, белый толстолобик – *TL*, белый амур – *BA*, *PT* – фитопланктон, описывающий агрегированную концентрацию всех видов водорослей, *MT* – полупогруженные макрофиты – главным образом тростник, *MR* – погруженные макрофиты – главным образом рдест, *ZO* – зоопланктон, *BK* – бактерий, *BN* – бентос, *PW* и *PS* – суммарный неорганический фосфор в воде и в осадках, соответственно, *NW* и *NS* – суммарный неорганический азот в воде и в осадках, соответственно, *DW* и *DS* – детрит в воде и в осадках, соответственно.

Построенная схема может отвечать условиям высокопродуктивной экосистемы только в том случае, если биологические процессы всех звеньев биотической цепи будут протекать на высокопродуктивном уровне. Предполагается, что такая схема достаточно полно отражает процессы трансформации вещества в макрофитно-рыбном пруду.

Литература:

1. Комилов Ф.С. Модель экосистемы горного глубоководного олиготрофного водохранилища // *Аграрная наука. Журнал межгосударственного совета по аграрной науке и информации стран СНГ.* – М., 2003, № 8, С. 23-25.
2. Комилов Ф.С. Математическая модель экосистемы равнинного водохранилища // *Аграрная наука. Журнал межгосударственного совета по аграрной науке и информации стран СНГ.* – М., 2003, №9, С. 24-26.
3. Митрофанов В.П. В сб. «Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана». – Фрунзе: «Илим», 1981, С. 337-342.
4. Комилов Ф.С. Компьютерное моделирование экосистем водохранилищ.-Душанбе: «Сохибкор», 2010.-240 с.
5. Svirezhev Ju.M., Krysanova V.P., Voinov A.A. Mathematical modelling of a fish pond ecosystem // *Ecological Modeling*, #21, 1984, P. 315-337.
6. Комилов Ф.С., Шарапов Д.С. Имитационное моделирование управляемой высокопродуктивной экосистемы рыбного пруда.- Душанбе: «Сохибкор», 2000.– 80 с.

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент Садуллоев Р.И.