

ЛГБ 05

15 НОЯ 1993

КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО РЫБОЛОВСТВУ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРУДОВОГО
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА (ВНИИПРХ)

На правах рукописи

ЯКОВЧУК МИХАИЛ ПАВЛОВИЧ

УДК 639.3.03/.06:639.371.5:591.531.1

ТРОФИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМЕ ПРУДА ПРИ
ПОЛИКУЛЬТУРЕ КАРПА С БЕЛЫМ И ПЕСТРЫМ ТОЛСТОЛОБИКАМИ

03.00.10 — ихтиология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук
в форме научного доклада

Москва 1993

Работа выполнена в Краснодарском научно-исследовательском институте рыбного хозяйства (КрасНИИРХ).

Научный руководитель – доктор биологических наук,
профессор В.К.ВИНОГРАДОВ

Официальные оппоненты – доктор биологических наук,
профессор А.С.КОНСТАНТИНОВ,
кандидат биологических наук,
ст.науч.сотрудник В.А.АКИМОВ

Ведущая организация – Росрыбхоз

Защита диссертации состоится "30" ноября 1993 г.
в "___" час. на заседании специализированного Совета
Д 117.04.01 при Всероссийском научно-исследовательском
институте прудового рыбного хозяйства по адресу:
141821, Московская область, Дмитровский район, пос.Рыбное.

Автореферат разослан "26" октября 1993 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Всероссийского научно-исследовательского института
прудового рыбного хозяйства.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
кандидат биологических наук

С.П.Тряпкина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Создание в 60-е годы технологии промышленного разведения растительноядных рыб позволило осуществить перевод прудовых хозяйств на выращивание поликультуры карпа и растительноядных рыб. Наиболее интенсивно внедрение поликультуры проходило в рыбхозах Северного Кавказа, где были созданы крупные воспроизводственные комплексы этих объектов. Переход рыбхозов на поликультуру карпа и растительноядных рыб позволил в течение нескольких лет удвоить рыбопродуктивность прудов без увеличения затрат кормов и удобрений (Виноградов, 1985). Практическая реализация упомянутой проблемы требовала проведения многочисленных рыбоводно-биологических исследований, в том числе изучения трофических взаимоотношений в экосистеме пруда при совместном выращивании карпа, белого и пестрого толстолобиков. Решению этих вопросов и были посвящены исследования автора.

Цель и задачи. Цель наших исследований - выявление особенностей функционирования экосистемы пруда в монокультуре с карпом и поликультуре с белым и пестрым толстолобиками в условиях Северного Кавказа. При проведении исследований решали следующие задачи:

1. Влияние объектов поликультуры на гидрохимический режим.
2. Формирование естественной кормовой базы прудов при поликультуре.
3. Питание и пищевые взаимоотношения выращиваемых рыб.
4. Динамика биомассы рыб в прудах в зависимости от их видовой численности.

Фактический материал. В диссертации подведены итоги исследований, выполненных в 1967-1988 гг. Фактической основой для обобщения послужили материалы исследований и производственных экспериментов, опубликованные нами самостоятельно или совместно с соавторами КрасНИИРХ. Работа выполнялась в рамках тематики КрасНИИРХ, научной проблемы "Акклиматизация и рыбохозяйственное освоение растительноядных рыб" и комплексной целевой программы "Амур". При обобщении результатов экспериментальных работ широко использованы литературные материалы.

Научная новизна. Выявлены продукционные возможности объектов поликультуры для рыбхозов Северного Кавказа. Определены некоторые механизмы воздействия толстолобиков на прудовую экосистему, связанные с характером их питания.

Практическая значимость. Уточнены и внедрены рекомендации по численности рыб в прудовой поликультуре в рыбхозах Северного Кавказа. Накопленные данные по анализу трофических взаимоотношений в прудах оказались полезными в работе по индустриальному рыбоводству, в результате чего разработана методика культивирования зоопланктона индустриальным методом (автор. свид. № 2493980 от 01.06.1977 г.). Изданы рекомендации по декапсуляции яиц *Artemia salina* (Яковчук, 1982).

Апробация работы. Результаты исследований, составивших основу диссертации, обсуждались на Ученых Советах КрасНИИРХ, методическом Совете КИП "Амур", Всесоюзных совещаниях по освоению растительноядных рыб (Москва, 1965; Кишинев, 1988), на Всесоюзной конференции молодых специалистов по прудовому рыбоводству (Рыбное, 1966), на Всесоюзном совещании по прудовому рыбоводству (Рыбное, 1987).

Публикации. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 20 статьях общим объемом 19 печатных листов.

Материал и методика. Эксперименты проводили в полевых и лабораторных условиях. При определении рациональной плотности посадки белого и пестрого толстолобиков были использованы опытные пруды площадью 0,02-100 га. Основной методический прием - изменение численности толстолобиков от 1000 до 10000 экз./га на фоне постоянной плотности посадки карпа. Схема опытов приведена в табл. I.

Таблица I

Численность рыб в прудах (тыс. шт./га)

Вид рыбы	! Контроль !	Опыт
Карп	3,2-4,7	3,2-4,7
Белый толстолобик	-	2,0-10,0
Пестрый толстолобик	-	0,5-4,0

Примечание: в опытных прудах выращивали с карпом тот или иной вид толстолобика или одновременно оба вида

Два раза в месяц в течение 4-х вегетационных периодов проводили наблюдения за состоянием кормовой базы прудов (фито-, зоопланктон, зообентос), питанием и ростом рыб, определяли рыбопродуктивность прудов, контролировали температурный и гидрохимический режим. Перечисленные показатели изучали традиционными в их-

тисологии и гидробиологии методами. Продукция планктона измеряли по суточной динамике карбонатной системы. Надежность этого метода была подкреплена лабораторными опытами на специально изготовленной установке. Культивирование фитопланктона проводили путем добавления в культурные среды жидких и твердых выделений белого и пестрого толстолобиков в концентрациях, соответствующих их метаболизму в данном возрасте. Результаты культивирования оценивались альгологическими и кислородным способами. Культивирование дафний проводили на экскрементах белого толстолобика по методике, разработанной в лаборатории кормовой базы ВНИИПРХ (Всипова, 1971). Наблюдения за питанием рыб в лабораторных условиях проводили в модифицированной установке В.А.Маткина с соавторами (1970). Анализ количественной стороны питания рыб и их пищевые взаимоотношения проводили по методикам, разработанным А.А.Цоригиным (1952), В.С.Ивлевым (1955), А.Д.Байковым (1935), Г.Г.Винбергом (1956), А.С.Константиновым (1986). Некоторые особенности питания рыб в лабораторных условиях фиксировались фотоаппаратом и кинокамерой.

ПИЩЕВЫЕ ОТНОШЕНИЯ РЫБ И ИХ РОСТ

Долгое время по вопросу избирательности питания белого толстолобика существовали противоположные точки зрения. Установленная размерная избирательность крупных клеток и колоний водорослей (Виноградов и др., 1973, 1977) не разрешала существующих разногласий. И лишь относительно недавно А.С.Константиновым и В.С.Вечкановым (1981) описана избирательность питания у белого толстолобика, обусловленная его физиологией. Независимо от упомянутых авторов, аналогичная избирательность была обнаружена и нами (рис. 1). Физиологическое объяснение обнаруженной избирательности у белого толстолобика подтверждают опыты, проведенные при экспериментальном кормлении рыб разнообразными культурами фитопланктона.

Толстолобику были предложены три монокультуры водорослей при концентрации 30 мг/л. Ни одну из предложенных групп фитопланктона в чистом виде толстолобик не фильтровал. После добавления в культуру среду с *Scenedesmus sp* суспензии прудового ила началось интенсивное потребление водорослей и через 6 ч в фитопланктонном культиваторе, из которого культура подавалась в аквариум с толстолобиком, вода стала прозрачной, а в приемнике экскрементов появились обильные массы экскрементов грязно-зеленого цвета. Можно предположить, что прудовой ил, благодаря адсорбции, снизил вели-

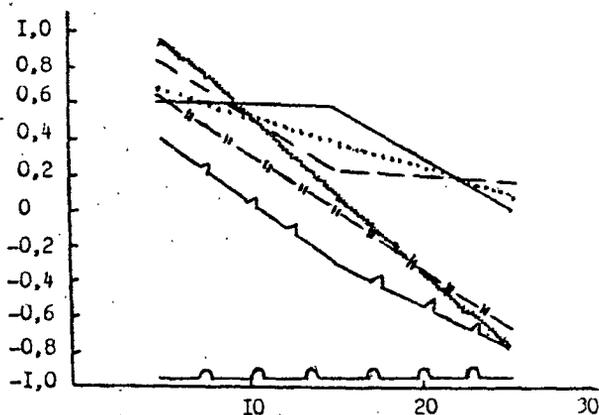


Рис. 1. Зависимость избирания толстолобиком групп водорослей от их относительного содержания в фитопланктоне.

— — — — — протококковые, - - - - - диатомовые, ······ -
 евгленовые, — — — — — сине-зеленые, — — — — — десмидие-
 вые, ~~~~~ - вольвоксовые, — — — — — пирифитовые.

ятную концентрацию запаха водорослей.

Здесь уместно остановиться на биомеханике питания белого толстолобика, обеспечивавшей фильтрацию сестона. Существует представление, что дыхание рыбы и фильтрация воды, а следовательно, и поглощение отфильтрованного материала осуществляется параллельно (Боруцкий, 1973). Такой способ питания у белого толстолобика естественен, так как прекратить дыхательные движения жаберными крышками, а следовательно, и фильтровать воду рыба не может. Наблюдения за питанием толстолобика в аквариуме показали, что при температуре 25°C рыба делает около 20 дыхательных движений жаберными крышками в минуту. Если отфильтрованный пищевой материал оказывается "аппетитным" для рыбы, он заглатывается, при этом периодически происходят кратковременные конвульсивные подергивания всего корпуса тела рыбы. Если же поглощенный сестон "некусный", происходит выплевывание отфильтрованного материала. Можно предположить, что рыба выплевывает кормовой сестон и в тех случаях, если она сыта. Однако у толстолобика существует и другой

способ питания - активный. В этом случае количество движений жаберными крышками увеличивается примерно вдвое, до 40 движений в минуту. При этом значительно увеличивается всасываемый объем воды, благодаря более активному движению жаберных крышек, а также за счет большего их удаления от корпуса рыбы. Наблюдаются более частые судорожно-конвульсивные подергивания тела, что может свидетельствовать о проглатывании пищи. Отфильтрованный в этом случае сестон толстолобик не выплевывает и производит впечатление хорошо действующей машины по фильтрации воды.

Что касается потребления зоопланктона пестрым толстолобиком, то и здесь вопреки ожидаемой избирательности наиболее крупной размерной группы зоопланктона - ветвистоусых (-0,6), избираются самые мелкие - коловратки (+0,1).

Значение зрения и освещенности в питании рыб довольно надежно изучено ранее (Мантейфель, 1961; Гирса, 1982). Что касается питания карпа-бентофага зоопланктоном, то проведенные нами наблюдения могут представить интерес. На рис. 2 хорошо видно влияние фитопланктона как фактора прозрачности на скорость потребления карпом рачков.

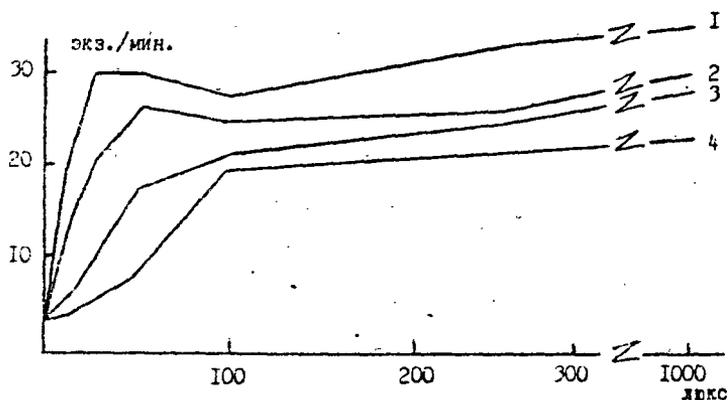


Рис. 2. Зависимость скорости потребления дафний карпом от освещенности воды
 Концентрация фитопланктона (мг/л): 1 - 0, 2 - 10, 3 - 25, 4 - 50.

При освещенности более 0,5 лккс карп, отлавливая рачков, пользуется зрением. Потребляя рачков при освещенности, ниже указанной и в темноте, карп использует осязание. Это было обнаружено при пороговой для нашего глаза освещенности, когда карп прекращал активную охоту за рачками. В этом случае, если рачок прикасался к телу карпа, последний мгновенно разворачивался в сторону касания и делал прицельное хватательное движение. Таким способом карп в полной темноте за 25 мин отлавливал 40 дафний в аквариуме объемом 2 л. Обнаруженный в лаборатории способ потребления зоопланктона позволяет объяснить потребление его карпом в прудах практически в непрозрачной воде.

В подобранной для поликультуры группе рыб на основании узкой специализации в питании, между двумя видами толстолобиков развивается конкуренция небольшой силы (0,002 конкалии) по потреблению крупных клеток и колониальных форм фитопланктона. Столь небольшая сила конкуренции так сильно влияет на рост пестрого толстолобика, как это видно из данных табл. 2, не может. В табл. 2 показано изменение массы толстолобиков в зависимости от их численности в прудах при одинаковой численности карпа.

Таблица 2

Взаимозависимость роста толстолобиков

Плотность посадки толстолобиков, шт./га	Средняя масса толстолобиков, г			
	пестрого		белого	
	с карпом	с белым толстолобом	с карпом	с пестрым толстолобом
1000	1100	765	730	700
2000	730	467	676	600
3000	730	445	610	485
4000	-	314	555	496

В большей степени это происходит за счет уменьшения второй составляющей кормовой базы пестрого толстолобика - зоопланктона. Сила влияния пестрого толстолобика на белого значительно меньше и практически действует как численность одного вида.

Более сильная конкуренция развивается у пестрого толстолобика с карпом по потреблению зоопланктона, достигающая 70 конкалий (Данченко, 1975). При такой силе конкуренции средняя масса карпа уменьшается на значительную величину и достигает 150 г (рис. 3).

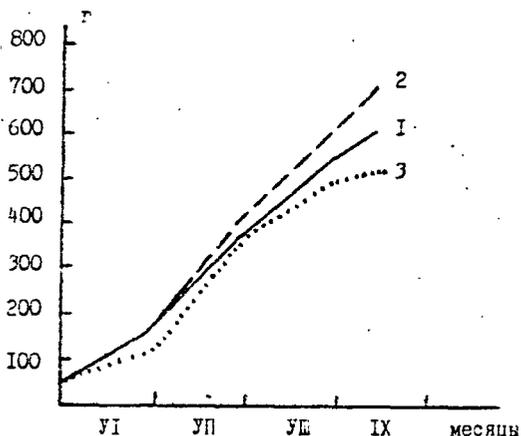


Рис. 3. Рост карпа в монокультуре (1), с белым (2) и пестрым (3) толстолобиками

Столь значительная потеря массы у карпа обусловлена не столько уменьшением потребленного зоопланктона, сколько несбалансированным по белку комбикормом. В этом случае зоопланктон становится существенным фактором сбалансированного питания карпа. Однако, такая сила конкуренции проявляется не всегда (Яковчук, 1987).

Выращиваемые при поликультуре рыбы при современном уровне интенсификации производства с испытанной плотностью посадки к концу вегетационного периода достигают средней массы 0,3–1,5 кг. На примере белого толстолобика проиллюстрирована диаграмма Норквиста (цит. по Елеонскому, 1946). Представляется возможным объяснить противоречие, обнаруженное А.Н.Елеонским, который подметил несоответствие между снижением средней массы рыб и их увеличивавшейся численностью на единице площади пруда (рис. 4).

Как видно из данных табл. 3, по мере увеличения численности толстолобиков существенно возрастает полнота использования кормовой базы. Это достигается за счет интенсификации ее потребления, а также возникающего в результате этого эффекта увеличения продукции фитопланктона (Яковчук, 1988).

Использование пищи на рост (К_г) изменяется сложным образом. При малой численности рыб его величина невелика, затем она воз-

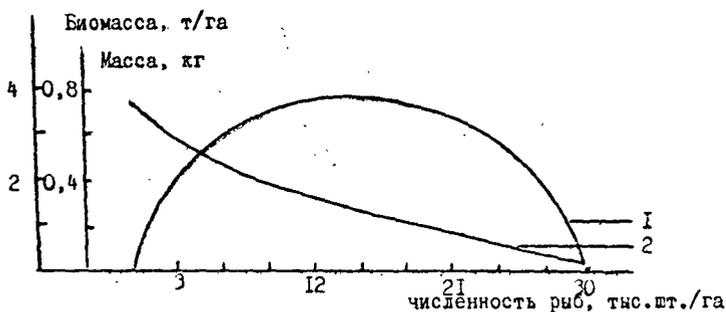


Рис. 4. Зависимость биомассы (I) и средней массы (2) рыб от их численности в прудах

Таблица 3
Потребление пищи (ц/га) и зависимость ее использования на рост от численности (тыс. шт./га) белого толстолобика

Численность белого толстолобика	Потребление пищи	Пищевой рацион, г/м*	K_2	K_1
1,6	97	31,4	46,0	9,1
1,8	123	30,7	47,6	10,4
2,7	144	27,0	46,0	10,5
3,7	155	22,9	45,6	12,7
6,5	284	23,7	43,5	9,3
7,0	284	24,8	42,4	8,8

Примечание: * — на м длины кишечника

растает, после чего происходит снова ее снижение. Повышение эффективности использования пищи до 12,7% объясняется улучшением условий ее усвоения, связанного с уменьшением рациона (Карзинкин, 1952; Васильева, 1959; Филатов, 1972). Последующее снижение продуктивного действия пищи на рост рыб, помимо увеличения рациона, зависит от ухудшения ее качества и возрастания K_2 . Таким образом, изменение величины кормовой базы и эффективности ее использования на рост рыбы не позволяет ожидать умозрительной пропорциональности между снижением средней массы рыбы и их увеличивавшейся численности.

Впреки распространенному мнению о высоком кормовом коэффициенте пищи у растительноядных рыб, в наших опытах он получился до-

вельно низким - 7,9-II,4. В литературе известна более высокая величина - 18,8 (Москул, 1977). Описывая опыт, автор указывает на большое содержание в пищевом коме минеральных взвесей - 30-45 %.

В результате биохимического анализа содержимого переднего отдела кишечника толстолобиков в наших опытах было обнаружено значительно меньше зольного материала - II-2 % на сухое вещество. Следовательно, количество минеральных взвесей в сестоне - существенный фактор изменения качества пищи белого толстолобика. Большое влияние на ее качество в прудах оказывает поступление в сестон аллохтонного материала, образующегося в результате кормления карпа комбикормом. Кроме того, пылевидные фракции комбикорма и экскременты карпа становятся органическим удобрением.

Так, средняя масса толстолобиков, выращиваемых с карпом без его кормления, была в 2 раза меньше по сравнению с таковой, где карпа кормили (Яковчук, 1970). Столь существенные различия кормовых коэффициентов и сезонных приростов у белого толстолобика свидетельствуют о значительных колебаниях обеспеченности пищей толстолобика в естественных условиях. Учитывая способность толстолобика отыскивать подходящую для себя пищу и ее отсутствие в некоторых случаях создает предпосылки для изготовления искусственного корма для этого вида рыб. Основой для такого корма могут стать экскременты рыб, выращиваемых в индустриальных условиях. В США уже проведен успешный опыт по использованию свиного навоза в качестве пищи для белого толстолобика (*Vick et al.*, 1976).

Из данных табл. 3 можно сделать вывод об избыточном питании белого толстолобика при их малой численности в пруду; при которой эффективность использования пищи снижается.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИЙ В ЭКОСИСТЕМЕ ПРУДА ПОД ВЛИЯНИЕМ РЫБ-СЕСТОФАГОВ

Используя свойственную каждому виду рыб кормовую базу, питающиеся рыбы снижают биомассу потребляемых объектов, а также изменяют их размерную структуру. Снижение размеров клеток фитопланктона происходит в результате прямой элиминации крупных форм сестофагами. Статистически недостоверное увеличение размеров зоопланктона (табл. 4) обусловлено увеличением доли крупных форм (дафний) зоопланктона, что происходит в результате изменения в трофических сетях, и это подтверждено экспериментальными исследованиями.

Для кормовой базы прудов Северного Кавказа характерна динамика

Таблица 4

Соотношение в прудах биомассы фито- и зоопланктона (г/м³)
и размеров организмов (мкм)

Планктонные группы	Контроль (каarp)		Опыт (поликультура)	
	биомасса	размеры	биомасса	размеры
Фитопланктон	63,2±5,4	312±71	12,0±1,9	156±24
Зоопланктон	14,9±2,1	955±101	5,1±1,2	1124±126

ка, заключающаяся в сравнительно равномерном уровне остаточной биомассы зоопланктона и резком сокращении таковой у хирономид, составлявших основу бентоса во второй половине вегетационного периода. Вместе с тем выявлено своеобразие в потреблении рыбой кормовых объектов (Яковчук, 1987) (табл. 5). Установлено, что в некоторых случаях карп даже при обилии хирономид отдает предпочтение зоопланктону.

Таблица 5

Среднесезонное соотношение (%) зоопланктона
и бентоса в кишечнике карпа

Тип питания	Зоопланктон	Бентос
Планктонный	88	12
Бентосный	18	82
Планктонно-бентосный	55	45

Это явление наблюдается как при осветленной, так и в совершенно непрозрачной воде. Поведение рыбы всегда своеобразно, она принимает вертикальное положение, головой вверх, и делает частые хватательные движения ртом, что напоминает поведение при резком дефиците кислорода в воде.

Таким образом, карп может предпочитать зоопланктон бентосу в случаях высокой прозрачности воды, когда он визуально ориентируется на рачков, или при низкой прозрачности благодаря их тактильному воздействию на рыб, что было обнаружено при экспериментальном изучении питания карпа (см. рис. 2). Известно, что потребление карпом зоопланктона энергетически менее эффективно, чем бентоса, а поэтому "конструирование" рациональной поликультуры рыб в этом случае вызывает некоторые трудности, что станет очевидным

при дальнейшем изложении материала.

Помимо этого в экосистеме пруда происходят более сложные изменения. Белый толстолобик подавляет биомассу фитопланктона сильнее пестрого (табл. 6). В контрольных прудах выращивали только карпа, в опытных, соответственно, либо белого, либо пестрого толстолобиков.

Таблица 6

Элиминация планктона сестофагами в прудах

Вид рыб	Фитопланктон		Зоопланктон	
	контроль	опыт	контроль	опыт
Белый толстолобик	55,0 \pm 4,7	15,3 \pm 2,1	33,1 \pm 3,7	8,4 \pm 1,5
Пестрый толстолобик	59,6 \pm 4,9	28,6 \pm 3,4	21,3 \pm 2,6	3,8 \pm 0,4

О фильтрационной способности толстолобиков можно судить из рассчитанного рациона (см. табл. 3). Это объясняется тем, что белый толстолобик обладает более совершенной фильтрационной способностью, чем пестрый. Влияние на зоопланктон белый толстолобик производит как конкурент в потреблении фитопланктона. Пестрый толстолобик оказывает на зоопланктон двойной пресс: как конкурент по использованию фитопланктона и как непосредственный его потребитель. Кроме того, под воздействием сестофагов в зоопланктоне происходит изменение в соотношении экологических групп организмов (табл. 7). В контрольных прудах выращивали карпа, в опытных — толстолобиков.

Таблица 7

Соотношение групп зоопланктона в прудах, %

Группы организмов	Контроль	Опыт
Коловратки	13	17
Веслоногие	85	55
Ветвистоусые	2	28

Изменение количественных показателей структурных единиц экосистемы приводит к возникновению в ней новых экологических эффектов. Так, доминирование сине-зеленых водорослей, которое наблюдалось в монокультуре карпа, было замещено ассоциациями зеленых, диатомовых и евгленовых водорослей при поликультуре (рис. 5).

Не менее важным эффектом стало увеличение первичной продукции

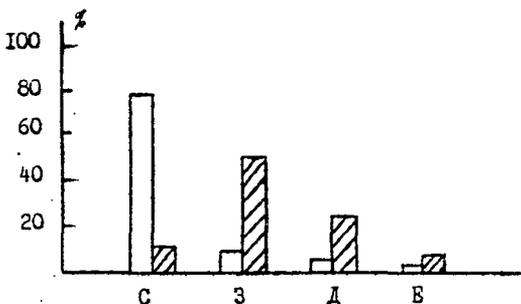


Рис. 5. Изменение видового состава фитопланктона в поликультуре

С - сине-зеленые, З - зеленые, Д - диатомовые, Б - евгленовые;  - контроль,  - опыт.

планктона, несмотря на существенное снижение биомассы фитопланктона, находящегося под прессом белого толстолобика (Яковчук, 1968). Однако, почти двукратное увеличение первичной продукции происходит не только за счет притока в пруд дополнительных биогенов, поступающих с метаболитами толстолобиков. В основном оно обеспечивается повышенной фотосинтетической активностью мелких клеток фитопланктона (Гутельмахер, 1974). Их появление в планктоне связано с фильтрационной деятельностью белого толстолобика.

Фильтрационная способность сестофагов приводит и к изменению прозрачности воды. Этот фактор, имеющий продукционное значение, был изучен в лабораторных условиях, так как наблюдение за ним в прудах осложнено присутствием большого количества аллохтонного материала, оказывающего влияние на прозрачность воды.

Здесь уместно остановиться на публикациях, в которых рассматривается стимулирующее действие белого толстолобика на рост карпа (Яковчук, 1968; Ямув, 1971; Кончиц, 1972; Минц, 1973). А. Ямув предполагал, что стимуляция роста карпа происходит за счет потребления последним экскрементов белого толстолобика.

С целью разрешения этого вопроса мы провели специальный опыт. Карпу предлагались доступные нам корма; черви, хлебные гранулы, которые он всегда съедал. И не было ни одного случая, чтобы поднятая со дна колбаска экскрементов толстолобика была бы проглочена карпом. При освещенности более 10 лккс после 2-3 попыток проглотить экскременты, карп больше не обращал на них внимание. В тем-

ноге эти попытки карп делает, по-видимому, постоянно, так как на утро в аквариуме обнаруживали слизистые тяжи, покрывавшие экскременты толстолобика. Непотребляемое рыбами органическое вещество в экскрементах белого толстолобика может быть использовано в других трофических цепях. Использование экскрементов белого толстолобика зоопланктоном было проверено экспериментально (табл. 8).

Таблица 8

Результаты опытов по культивированию
на экскрементах толстолобиков

Количество корма, мг/л		Размер, мм	Среднесуточный прирост, мг	Плодовитость, экз.	K _T
фитопланктон	экскременты				
-	70	2,6	0,27	10,3 [±] 0,5	36,0
20	-	3,0	0,32	13,9 [±] 1,2	29,0
20	20	3,4	0,44	18,0 [±] 1,1	39,0
20	40	3,5	0,41	21,8 [±] 1,6	32,0
20	70	3,7	0,50	26,4 [±] 1,5	31,2
20	90	3,9	0,55	33,6 [±] 2,3	30,9

Проведенный опыт по культивированию дафний позволил определить затраты экскрементов толстолобика на прирост рачков. С учетом кормового коэффициента, который в эксперименте составил 7-14, можно рассчитать продукцию дафний, получаемую за счет экскрементов белого толстолобика, она равна 14-28 ц/га. Эта величина продукции дафний может служить материальным ресурсом увеличения биомассы карпа в поликультуре.

Несмотря на значительное повышение численности рыб в поликультуре, различие некоторых показателей гидрохимического режима в опытных и контрольных прудах было статистически недостоверным. Увеличение рыбопродуктивности на 30 ц/га не вызвало ухудшения гидрохимического режима, а по обобщаемому показателю - окисляемости - наблюдалось даже улучшение (рис. 6). Эти данные противоречат опыту интенсивного монокультурного карповодства, когда повышение численности карпа приводит к ухудшению кислородного режима - лимитирующего фактора водных экосистем. Происходит это в силу того, что при кормлении карпа его экскременты и непотребляемая часть корма поступает в трофические цепи, где потребление кислорода на один-два порядка выше, чем у рыб. Таким образом можно утверждать,

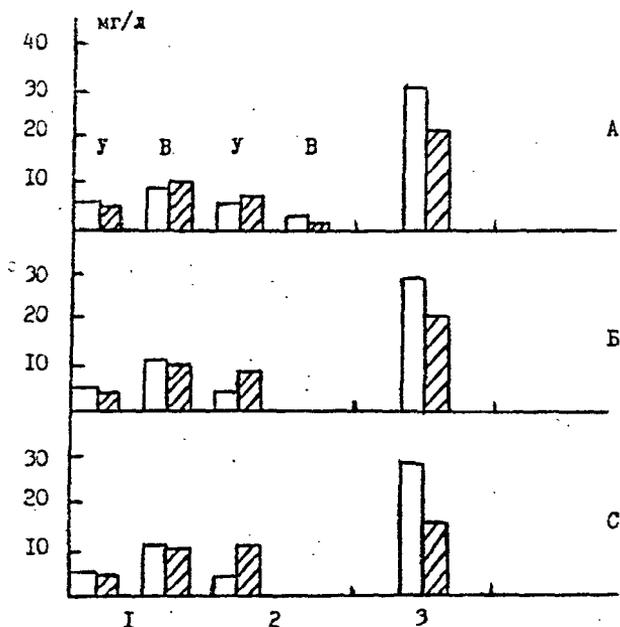


Рис. 6. Среднесезонное содержание кислорода (1), углекислоты (2) и окисляемости (3) в воде прудов при выращивании карпа с белым (А), пестрым (Б) и белым и пестрым (С) толстолобиками.

□ - контроль, ▨ - опыт;
У - утром, В - вечером.

что толстолобик является весьма эффективным биофильтром. Расчеты, основанные на зависимости потребления кислорода различными группами живых существ (Винберг, 1956; Потаенко, 1970; Сушеня, 1972) показывают, что на поддержание метаболизма 1 г биомассы в сутки при температуре 25°C бактерии расходуют 180 мг, дафнии - 80 мг, а рыбы 10 мг кислорода. Этот мелиоративный эффект, производимый сестофагами в экосистеме пруда, обнаружен также и на более крупных водоемах (Никольский и др., 1979). В прудах Северного Кавказа он является также фактором, препятствующим возникновению эпизодической инфекционных заболеваний и наиболее тяжелого из них - краснухи карпа.

ПОТОК ЭНЕРГИИ, ПРОХОДЯЩИЙ ЧЕРЕЗ ЭКОСИСТЕМУ ПРУДА И ЕГО РЫБОПРОДУКТИВНОСТЬ

Сопоставление численности рыб в прудах с их биомассой в конце вегетационного периода моделируется уравнением окружности, центр которой располагается либо на оси X, либо смещен вниз по оси Y. На рис. 4 показана эта зависимость для белого толстолобика. Можно предположить, что смещение центра окружности имеет биологическую причину, связанную с обеспеченностью рыб пищей.

Уровень повышения рыбопродуктивности прудов за счет дополнительной продукции сестофагов оценен довольно обстоятельно (Виноградов, 1985). Взаимовлияние совместно выращиваемых рыб, хотя и носит сложный характер, к настоящему времени стало вполне понятным (Яковчук, 1968, 1970, 1987; Яшув, 1972; Виноградов, 1985). Что касается характеристики эффективности утилизации солнечной энергии прудовыми экосистемами, то в региональном плане она имеет пробелы. В табл. 9 приведены данные, полученные на собственном экспериментальном материале в рыбхозах Северного Кавказа.

Таблица 9

Поток энергии (ккал · 10³), проходящий через экосистему пруда в моно- и поликультуре рыб на конечном звене

Наименование	Контроль		Опыт	
	каarp	каarp + белый толстолобик	каarp + белый толстолобик	каarp + пестрый толстолобик
ФАР	231,0	231,0	231,0	231,0
Фитопланктон	1,6	3,5	3,5	4,1
Зоопланктон	0,2	0,1	0,1	0,1
Бентос	0,1	0,1	0,1	0,1
Рыба	0,06	0,36	0,36	0,26

Утилизация фитопланктоном солнечной энергии в поликультуре вдвое превышает таковую в монокультуре. Точно также использование аккумулярованной фитопланктоном энергии в два раза выше в поликультуре, чем в монокультуре. Суммарная эффективность использования солнечной энергии в поликультуре оказалась в 6 раз выше в сравнении с монокультурой и составила 0,15% ФАР. Использование солнечной энергии фитопланктоном при поликультуре рыб соизмеримо с таковой на высокопродуктивном пшеничном поле, а ее трансформация

в продукт рыбы составляет теоретически допустимую величину – 10% (Одум, 1975). Кроме того, мощность потока энергии иногда увеличивается на величину естественной рыбопродуктивности по карпу, что обусловлено своеобразием пруда (Яковчук, 1987). Учитывая, что в поликультуре улучшаются кислородные условия, имеется возможность дополнительной интенсификации кормления карпа. О возможности абсолютного увеличения рыбопродуктивности прудов при кормлении карпа в поликультуре даны данные, приведенные в табл. 10. В таблице показано, как увеличивается общая рыбопродуктивность пруда по сравнению с контролем от численности толстолобиков в зависимости от того, влияет или не влияет тот или иной их вид на конечную продукцию карпа.

Таблица 10

Связь численности толстолобиков (шт./га) с увеличением
рыбопродуктивности прудов (ц/га) по сравнению с
контролем

численность толстоло- биков	! При влиянии толстолобиков!		! Без влияния толстолобиков	
	! БТ	! ПТ	! БТ	! ПТ
1000	7,4	9,6	6,0	11,0
2000	13,5	13,4	11,0	19,0
3000	17,4	13,9	14,0	21,0
4000	22,1	15,3	18,0	23,0

Наиболее существенным из представленных данных является значительно большее увеличение рыбопродуктивности в бикультуре карпа с пестрым толстолобиком, чем с белым. Здесь уместно заметить, что это связано с большей обеспеченностью пищей пестрого толстолобика по сравнению с белым, так как первый использует два трофических уровня – фито- и зоопланктон. Из этой таблицы также следует, что в тех случаях, когда пестрый толстолобик не оказывает влияния на рост карпа, а это бывает при бентосном его питании, когда он не потребляет зоопланктон, пестрый толстолобик оказывается продуктивнее белого. Такое положение представляет трудность для практических рекомендаций выбора плотности посадки пестрого толстолобика в пруды. Выходом из этого затруднения может быть обязательный мониторинг прудов.

Что касается практической реализации этой биологической особенности пестрого толстолобика в прудах, то это возможно при

обстоятельной гидробиологической таксация рыбоводных прудов. При отсутствии такого обеспечения целесообразным стало ограничение численности пестрых толстолобиков до 500 шт./га (Временные рекомендации:..., 1969).

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что при совместном выращивании трех видов рыб, использующих разные трофические уровни, достигается значительное увеличение рыбопродуктивности экосистемы пруда. Материальная основа такого увеличения возникает в результате взаимодействия структурных компонентов экосистемы и выражается в увеличении мощности потока энергии, проходящей через экосистему пруда не менее, чем в 6 раз. Это связано с увеличением первичной продукции планктона и сокращением потерь энергии на трофических уровнях. Поступление в экосистему пруда дополнительного органического вещества в виде экскрементов обогащает аллохтонные трофические цепи — бентосную и зоопланктонную. Утилизация продукции зоопланктона карпом, возникающая за счет экскрементов толстолобиков, происходит при их содействии. Активно фильтруя воду, толстолобики улучшают световые условия в ней, что может способствовать потреблению карпом рачков в светлое время суток. Исследованиями выявлен неизвестный ранее способ питания карпа зоопланктоном при помощи осязания.

Значение зоопланктона в питании карпа в прудовой экосистеме имеет существенное значение для экономики прудового рыбоводства. Это связано с тем, что в прудах для кормления карпа используют комбикорма несбалансированные по белку. В связи с разнообразием прудовых экосистем в некоторых из них во вторую половину сезона зоопланктон становится единственным источником естественной белковой пищи. Присутствие в этом случае пестрого толстолобика в нелимитированном количестве резко снижает эффективность использования искусственных кормов. Затраты комбикорма на прирост карпа в августе достигают 17-20 единиц. Даже несмотря на это, продукция карпа снижается на 5 ц/га.

Поскольку в бедных бентосом экосистемах белый толстолобик, как и пестрый, оказывает отрицательное воздействие на рост карпа, его кормление в этих случаях должно проводиться физиологически сбалансированными комбикормами. В противном случае их использование становится неоправданным.

Положительный эффект эксплуатации экосистемы пруда сестофагами, выявленный в опытах и заключающийся в образовании дополнительной первичной продукции, обеспечил возникновение дополнительной продукции рыб как за счет этого материала, так и за счет образовавшегося дополнительного количества кислорода. Следует заметить, что содержание кислорода в воде является вторым после температуры лимитирующим фактором продуктивности рыб в водоеме.

Несмотря на поступление в экосистему пруда при поликультуре карпа с толстолобиками дополнительного количества органического вещества, образовавшегося за счет интенсификации фотосинтетического процесса планктона, в ней наблюдается явный признак мелиоративного эффекта от жизнедеятельности толстолобиков - снижение перманганатной окисляемости воды. Биологической основой такой масштабности мелиоративного эффекта, развиваемого толстолобиками, является минимальность уровня интенсивности обмена на единицу утилизируемого вещества по сравнению со всеми более мелкими организмами. Как уже отмечалось, скорость потребления кислорода у рыб примерно в стс раз меньше, чем у бактерий. О мощности мелиоративного эффекта, производимого толстолобиками, можно судить также по увеличению концентрации общего азота в экосистеме поликультурного пруда (Яковчук, 1968) и по увеличению концентрации углекислого газа в утренние часы в воде пруда. Этот мелиоративный эффект, производимый сестофагами, стал естественной предпосылкой улучшения санитарного состояния прудов, что дополнительно сказалось на улучшении эпизоотического состояния в них. Кроме того, мелиорация, производимая толстолобиками, исключила из технологического цикла производства товарной рыбы в прудах Северного Кавказа одну из мер интенсификации - летование прудов. Замечательная мелиоративная способность сестофагов, заключающаяся в отфильтровывании микроскопических частиц органического вещества, может быть более широко использована в народном хозяйстве, например, в очистных сооружениях в качестве дополнительного биофильтра. Очень эффективно толстолобики могут быть использованы в рыбоводных комплексах с замкнутым водоснабжением в качестве биологического фильтра взвешенного органического вещества, образовавшегося за счет экскрементов рыб. Естественно, что для такого практического использования этих рыб необходимы предварительные биолого-инженерные исследования.

Практический интерес представляет также способность толстолобиков подавлять развитие сине-зеленых водорослей, служащих показателем

толем нерационального природопользования. Механизм этого подавления состоит в следующем: сине-зеленые водоросли в большинстве своем колониальные формы, а, следовательно, более крупные по сравнению с остальными видовыми группами водорослей, находятся в первую очередь под постоянным воздействием размерной или механической избирательности. В результате чего доминирование в фитопланктоне приобретает ассоциации водорослей, которые могут оказывать воздействие на цианобактерии как конкуренты в биотопе.

Такой механизм влияния толстолобиков на так называемый "трофический тупик" обнаруживается при численности рыб не менее 1000 шт./га. Существенного различия в силе воздействия на сине-зеленые водоросли обоими видами толстолобиков не обнаружено.

Таким образом, сделанное предположение (Никольский, Тарасова, 1967) о возможном использовании белого толстолобика для борьбы с сине-зелеными водорослями, убедительно доказанное экспериментально А.С. Константиновым и В.С. Вечкановым (1981) и подтвержденное нашими наблюдениями на примере двух видов толстолобиков, не оставляет сомнений о практическом использовании этих рыб в качестве мелиораторов в крупных водоемах от сине-зеленых водорослей.

Кормление карпа в прудах, помимо экологического, имеет существенное экономическое значение как фактор, определяющий себестоимость выращиваемой рыбы. Долгое время среди производителей и в научных кругах длилась полемика о конкуренции толстолобиков с карпом в потреблении комбикорма. Ни белый, ни пестрый толстолобик не в состоянии физически отфильтровывать тонущие гранулы комбикорма. Обнаруженная специфическая форма избирательности, основанная на обонятельной рецепции, позволяет объяснить причину привлечения толстолобиков к кормораздающим механизмам прудов. У толстолобиков имеется биологическая способность к потреблению дисперсных частиц комбикорма, находящихся в воде пруда при кормлении карпа. Можно полагать, что такое использование комбикорма сестрофагами является положительным моментом трансформации энергии поступающего аллохтонного вещества в экосистему пруда. Это связано с устранением возможного загрязнения воды пруда пылевидными частицами несъеденных карпом остатков корма, а также с использованием их толстолобиками в качестве пищи, чем сокращается длина аллохтонной пищевой цепи.

ВЫВОДЫ

1. Введение в экосистему карпового пруда двух видов сестофагов - белого и пестрого толстолобиков вызывает в ней значительные структурные и функциональные изменения. Происходит значительное увеличение мощности потока энергии, проходящей через экосистему за счет повышения первичной продукции, обусловленного эксплуатацией первого трофического уровня сестофагами. Толстолобики, эффективно использующие фитопланктон, сокращают потери энергии в экосистеме, что приводит к дополнительному увеличению рыбопродуктивности пруда.

2. Alloхтонное вещество, поступающее в экосистему пруда в виде комбикорма при поликультуре, трансформируется следующим образом: главная часть гранулированного субстрата потребляется карпом и переводится в его живую массу, часть непотребленного корма в виде пылевидной фракции отфильтровывается толстолобиками и усваивается ими, наконец, последняя часть комбикорма, а также неувоенная рыбами, в виде экскрементов, поступает на следующий трофический уровень. Соотношение частей потока энергии, поступающего в пруд с комбикормом, зависит от технологической дисциплины каждого рыбхоза.

3. Толстолобики производят мощное мелиоративное воздействие на экосистему пруда, за счет чего происходит дополнительное увеличение его рыбопродуктивности.

4. В результате жизнедеятельности толстолобиков возрастает мощность потока энергии на втором трофическом уровне, что стимулирует развитие зоопланктона и зообентоса. Образование дополнительной продукции на втором трофическом уровне за счет поступления в экосистему экскрементов сестофагов может приводить к увеличению продуктивности карпа.

5. Фильтрационная способность толстолобиков увеличивает прозрачность воды, что способствует карпу в потреблении зоопланктона.

6. В питании карпа естественной пищей можно выделить три типа: бентосный, планктонный и планктонно-бентосный. Получение максимальной продукции рыбы при поликультуре может корректироваться при помощи численности рыб в соответствии с биотической особенностью экосистемы пруда.

7. Толстолобики в состоянии подавить экологический взрыв синезеленых водорослей путем их элиминации, в результате чего происхо-

дит формирование новой ассоциативной структуры фитопланктона.

8. Численность толстолобиков является регулятором величины первичной продукции и эффективности ее использования на рост этих рыб.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Учитывая особенности гидробиологического режима прудов рыбохозов в зоне Северного Кавказа, предлагается оптимальная плотность посадки рыб: карпа - 4000-5000 шт./га, белого толстолобика - 2000-4000 шт./га, пестрого толстолобика - 500 шт./га.

2. При дефиците комбикорма продукция толстолобиков может поддерживаться путем формирования естественной кормовой базы за счет внесения в пруды органических удобрений в жидком виде. Это мероприятие должно проводиться при строгом гидрохимическом контроле.

3. Подавление "экологического взрыва" сине-зеленых водорослей толстолобиками достигается при их численности не менее I тыс. шт. на I га.

4. Уникальная мелноративная способность толстолобиков может быть использована в очистных сооружениях, а также в рыбоводных комплексах с оборотным водоснабжением.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Яковчук М.П. Опыт совместного выращивания двухлетков пестрого толстолобика и карпа в Краснодарском крае // Тез. докл. Всесоюз. конф. молодых специалистов по прудовому рыбоводству. - М., 1967.

2. Яковчук М.П. Опыт совместного выращивания двухлеток белого толстолобика и карпа в условиях Северного Кавказа // Новые исследования по экологии и разведению растительноядных рыб. - М., 1968. - С. 97-105.

3. Калинин Д.С., Калинин Р.А., Житенев А.Н., Яковчук М.П. К вопросу совершенствования биотехники выдерживания личинок растительноядных рыб // Тез. докл. по интенсив. рыбохоз. использованию внутр. водоемов Северного Кавказа. - Краснодар: КрасНИИРХ, 1969. - С. 8-10.

4. Калинин Д.С., Яковчук М.П., Данченко Э.В. Повышение рыбопродуктивности нагульных прудов Северного Кавказа при совместном выращивании карпа и растительноядных рыб // Тез. докл. конф. по интенсив. рыбохоз. использованию внутр. водоемов Северного Кавказа. - Краснодар, 1969. - С. 8-9.

5. Чиков Н.И., Калинин Д.С., Крылова А.Г., Суханова И.А., Абаев Д.И., Яковчук М.П., Москалев Д.В., Жалнина А.И. Временные рекомендации по биотехнике выращивания растительных рыб совместно с карпом во внутренних водоемах Северного Кавказа.- Краснодар:КрасНИИРХ, 1969.- 44 с.

6. Яковчук М.П., Данченко Э.В. Выращивание карпа и растительных рыб в условиях Северного Кавказа // Сб. науч.-техн. информ. КрасНИИРХ.- Краснодар, 1969.- Вып. I.- С. 56-58.

7. Яковчук М.П. Поликультура и удобрения // Рыбоводство и рыболовство.- 1970.- № 6.- С. 10-12.

8. Яковчук М.П. Выращивание сеголеток при поликультуре в Ростовской области // Тез. докл. по интенсив. рыбохоз. использованию внутр. водоемов Северного Кавказа.- Краснодар, 1971.- С. 10-12.

9. Яковчук М.П. Опыт выращивания двухлеток карпа и пестрого телетолобика в Краснодарском крае // Сб. науч. тр. ВНИИРХ.- 1971.- Вып. 18.- С. 277-282.

10. Яковчук М.П. Перевозка полиэтиленовых пакетов с личинками в емкостях с водой // Экспресс-информация.- М.: ЦНИИТЭИРХ, 1972.- Вып. 8.

11. Яковчук М.П. Внутрихозяйственные перевозки молоди рыб живорыбными машинами // Экспресс-информация.- М.: ЦНИИТЭИРХ, 1972.- Вып. 6.

12. Яковчук М.П., Нефедьева Г.М. К вопросу управления гидрохимическим режимом прудов // Тез. докл. конф. по интенсив. использованию внутр. водоемов Северного Кавказа.- Краснодар:КрасНИИРХ, 1972.- С. 65-67.

13. Яковчук М.П. Некоторые условия повышения рыбопродуктивности прудов при поликультуре // Тез. докл. науч. конф. по рыбоводству во внутр. водоемах Северного Кавказа.- Краснодар:КрасНИИРХ, 1973.- С. 14-19.

14. Яковчук М.П. Лабораторный способ определения биологической потребности планктона прудов в удобрениях // Рыбоводство и рыболовство.- 1974.- № 4.- С. 14.

15. Яковчук М.П. Совершенствование измерения первичной продукции в высокопродуктивных прудах // Рационализаторское предложение.- Краснодар:КрасНИИРХ, 1975.- I с.

16. Яковчук М.П., Демченко В.А. Установка для культивирования и выращивания кормовых организмов для рыб // Авторс. свид. №721043.- М. 1979.

17. Яковчук М.П. Рекомендации по декапсулированию яиц *Artemia salina* и их использование для кормления личинок карпа.- Краснодар, 1982.- 16 с.

18. Скляр В., Яковчук М., Иняков В. За один сезон // Рыбоводство и рыболовство.- 1983.- № 3.- С. 9.

19. Яковчук М.П. Некоторые трофические факторы продуктивности рыб в поликультуре // Тез.докл. Всесоюз. совещ. по современ. состояниям и перспективам развития прудового рыбоводства.- М., 1987.- С. 107-108.

20. Яковчук М.П. Индустриальное подраживание личинок карповых рыб // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ.- 1987.- Вып. 262.- С. 75-77.

21. Яковчук М.П. Увеличение продукции фитопланктона, потребляемого белым толстолобиком // Рыбовоз. освоение растительных рыб / Тез. докл. II совещ.- Кишинев, 1988.- С. 191-192.