

РГБ ОД

На правах рукописи

- 7 ноя 1994

ЖУРАВЛЕВ
Юрий Николаевич

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ
ФИТОПЛАНКТОНА РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ**

03.00.18. - гидробиология

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой
степени кандидата биологических наук

Работа выполнена в Государственном научно - исследовательском институте озерного и речного рыбного хозяйства /ГосНИОРХ/

Научный руководитель -
доктор биологических наук, профессор Г.М. Лаврентьева

Официальные оппоненты:
доктор биологических наук Л.Н. НОВИЧКОВА-ИВАНОВА
кандидат биологических наук В.В. ЯСТРЕМСКИЙ

Ведущее учреждение - Самарский государственный университет

Защита диссертации состоится "13" *декаб.* 1994 г. в 13 часов на заседании специализированного совета К 117.03.01. при Государственном научно-исследовательском институте озерного и речного рыбного хозяйства по адресу: 199053, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГосНИОРХ.

Автореферат разослан "18" *окт.* 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат биологических наук

М.А. ДЕМЕНТЬЕВА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Известно, что интенсивное рыбоводство без применения минеральных удобрений нерентабельно. Многие аспекты действия минеральных удобрений на прудовые и озерные экосистемы к настоящему времени изучены (Винберг, Ляхнович, 1965; Лаврентьева, 1986).

Стало очевидным также, что применяющиеся в настоящее время нормативы удобрения озер (Абросов, 1963, 1967; Баранов, 1981) недостаточно обоснованы, поскольку их разработка базировалась на оказавшемся малосостоятельным теоретическом тезисе о возможности перевода озера за короткий промежуток времени в другой трофический статус. Оказалось, что удобряемые озера представляют собой искусственные экосистемы, в которых показатели первичной продукции часто были несоизмеримо выше продукции зоопланктона, регулируемого в значительной степени переуплотненными посадками рыб. Возникла новая задача поиска: оптимальной для рыбного хозяйства стимуляции фитопланктона, при которой биомасса водорослей будет наиболее полно потреблена зоопланктоном, т.к. его перепроизводство ведет к ухудшению газового и гидрохимического режима водоемов.

Эксплуатация рыбоводных прудов, по многим параметрам отличающихся от озер по особенностям функционирования их экосистем, сталкивается с теми же проблемами. Однако, в отличие от низкотрофных озер, в прудах увеличивается роль фитопланктона как фактора, определяющего их кислородное обеспечение, что требует детального анализа возможности направленного и также ограниченного регулирования в прудах продукционных процессов.

Цель и задачи работы. Цель работы - оптимизация методов стимуляции развития фитопланктона в водоемах для увеличения в них рыбохозяйственного эффекта при возможно максимальном сохранении чистоты вод. Задачи работы: 1. Изучить в условиях эксперимента особенности влияния различных концентраций минеральных удобрений на продуктивность фитопланктона исследованных озер в соответствии с особенностями его функционирования. Дать понятие об оптимальной дозе биогенов. 2. Оценить роль фитопланктона в формировании газового и гидрохимического режима прудов и определить оптимальные способы его стимуляции минеральными удобрениями. 3. Установить особенности стимулирующего воздействия синтетических комплексонов на водоросли, на примере этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА), и дать оценку возможности их практического применения в рыбоводстве

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I. Материалы и методы исследований

Исследования проводились на двух олиготрофных озерах (Ямное и Мостище) Пустошкинского района Псковской области (в 1986-1987 гг.) и на 32 экспериментальных прудах рыбхоза "Сускан" Самарской области (в 1984-1985 и 1989-1990 гг.) Работа велась поэтапно - путем сочетания лабораторных и полевых наблюдений в соответствии с задачами исследований.

Опыты по влиянию биогенов на фитопланктон озер. В 8 сериях экспериментов, поставленных в мае-июне 1986 и 1987 гг., на озере Ямном и озере Мостище определялись стимулирующие и ингибирующие фотосинтез планктона дозы биогенов. В июне-сентябре 1987 г. в 9 сериях экспериментов изучалось изменение потребности фитопланктона в биогенах в процессе дробного - четырехкратного за сезон удобрения исследованных озер. Для этого в склянки, используемые для определения продукции фитопланктона по методу Г.Г. Винберга (1960), добавлялись испытуемые вещества - соли азота и фосфора в форме химически чистых соединений K_2HPO_4 и NH_4NO_3 . Действие их на фитопланктон оценивалось по повышению или снижению суточной валовой продукции относительно контрольных вариантов без добавок. Повторность опытов - двухкратная. Фосфор и азот вводились только совместно в соотношении 1:10. Для определения оптимальных доз биогенов были испытаны следующие концентрации: 0,0025 + 0,025, 0,005 + 0,05, 0,01 + 0,1, 0,025 + 0,25, 0,05 + 0,5 (соответственно P + N в мг/л)*. Отбор проб и последующая суточная экспозиция склянок в этом случае проводились на глубине равной четверти от глубины прозрачности воды, определенной по белому диску (S, м). Для определения потребности фитопланктона в биогенах в процессе удобрения озер использовались только две их концентрации: минимальная - 0,0025 мгP/л и одна из стандартных (нормативных), принятых в рыбоводстве - 0,05 мгP/л. В этом случае отбор воды и соответствующая экспозиция контрольных и опытных склянок проводились на пяти глубинах, соответствовавших 0,25S, 0,5S, 1,0S, 2,0S и середине трофолитического слоя.

*В дальнейшем для краткости изложения будет указана только концентрация фосфора.

в качестве стимуляторов роста фитопланктона.

Теоретическое значение. Впервые исследовалось изменение потребности фитопланктона в биогенах в процессе многократного за сезон удобрения олиготрофных озер. Введено понятие об оптимальной разовой дозе минеральных удобрений по воздействию ее на фитопланктон и выявлены некоторые факторы ее определяющие.

В работе впервые путем сочетания лабораторных и натуральных исследований на примере ЭДТА выявлены общие закономерности воздействия синтетических комплексонов на фитопланктон. В частности, в соответствии с современной классификацией биологически активных веществ (Ракитин, 1983; Баренбойм, Маленков, 1986) и на основании собственных полученных данных, ЭДТА отнесена к истинным стимуляторам роста. Впервые дается оценка влияния ЭДТА на фитопланктон при непосредственном внесении ее в водоемы.

Практическая ценность работы. Настоящая работа является частью комплексных исследований лаборатории гидробиологии ГосНИОРХ по определению различных нормативов для рациональной эксплуатации олиготрофных озер-питомников. Анализ полученных результатов позволил выделить новые подходы в разработке норм азотно-фосфорных удобрений как для озерных, так и прудовых хозяйств. Даны рекомендации по рациональной эксплуатации прудов рыбхоза "Сускан". Результаты исследований по влиянию комплексона ЭДТА на фитопланктон представляют интерес для поиска малотоксичных биологически-активных веществ для использования в рыбохозяйственных целях и для прогнозирования поведения синтетических комплексонов в естественных водоемах при поступлении их из водоемов - охладителей АЭС, со сточными водами химических производств.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на конференции молодых ученых ГосНИОРХ (Ленинград, 1985), Института озеразведения АН СССР (Ленинград, 1987), научно-методическом семинаре Отдела низших растений Ботанического института АН СССР (Ленинград, 1987).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 7 работ, из них две - в соавторстве.

Структура и объем работы. Материалы диссертации изложены на 152 стр. машинописного текста. Состоит из введения, пяти глав, выводов, практических рекомендаций и приложения, иллюстрирована 23 рисунками и 16 таблицами. Список литературы содержит 148 названий в том числе 56 зарубежных авторов.

Нормы внесения суперфосфата и аммиачной селитры в озера рассчитывались по И.В. Баранову (1981). При этом все количество удобрений делилось на четыре порции, каждая из которых вносилась еженедельно с 22 июня. Исследованные озера использовались в качестве питомников для выращивания сиговых рыб.

Опыты по оптимизации режима удобрения рыбоводных прудов. Проводились на 10 прудах в 1989 г. и на 12 прудах в 1990 г.. Пруды начинали удобрять в конце мая, когда спадала фотосинтетическая активность фитопланктона, поступившего при заполнении прудов с водой из Куйбышевского водохранилища, что устанавливалось по появлению свободной углекислоты. Активная реакция среды при этом снижалась с рН 8,5-8,8 до рН 7,6-7,8. Периодичность внесения минеральных удобрений в среднем составляла раз в 7 - 10 дней. Удобрение проводилось только при наличии в водоемах резерва свободной CO_2 , когда в дневное время суток - в период максимального фотосинтеза планктона, рН не превышала 8,0 единиц. Разовые дозы удобрений корректировались в соответствии с еженедельными гидрохимическими данными. Так, при содержании минерального фосфора менее 0,2 мг/л и минерального азота менее 0,6 мг/л вносились суперфосфат и аммиачная селитра. При содержании фосфора более 0,2 мг/л и азота менее 0,6 мг/л пруды удобрялись только аммиачной селитрой, а при содержании минерального азота более 0,6 мг/л и фосфора менее 0,2 мг/л - только суперфосфатом. Во всех случаях суперфосфат и аммиачная селитра вносились фиксированными дозами - по 25 кг/га каждого. Общее количество внесенных удобрений за сезон по отдельным прудам варьировало от 85 до 250 кг/га каждого - в зависимости от динамики рН, содержания в воде биогенов, как указывалось выше, а также от продолжительности выращивания рыбы (113 дней в первый и 140 дней во второй год исследований). В 1989 г. пруды удобрялись с мая по июль, а в 1990 г. - с мая по август включительно. Зарыбление в оба года проводилось годовиками карпа из расчета 6,7 - 8,3 кг/га.

Опыты по влиянию ЭДТА на развитие фитопланктона. Воздействие ЭДТА (динатриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты) на фитопланктон в 1984 г. изучалось на трех, в 1985 г. на двух прудах. Контролем служил фитопланктон соответствующих прудов без внесения комплексона. В 1984 г. ЭДТА вносилась на четвертые сутки после заполнения прудов дважды - 10 и 14 мая по 0,5 мг/л при температурах воды 19,2 и 21,3 °С соответственно. В 1985 г. - по 1,0 мг/л на седьмые сутки после заливания прудов (28 мая) и в середине лета (16 июля) при температурах 20,1 и 24,3 °С. Параллельно с внесением ЭДТА все пруды,

включая контрольные, в те же сроки удобрялись суперфосфатом и аммиачной селитрой - 50 кг/га каждого. В 1984 г. зарыбление проводилось годовиками карпа и гибрида белого и пестрого толстолобиков (по 5 и 2 тыс. шт./га каждого), а в 1985 г. - личинками карпа (по 80 тыс. шт./га).

В серии лабораторных опытов изучалось влияние ЭДТА на альгологически чистую культуру хлореллы (*Chlorella fusca* v. *vacuolata* Shihira et Krauss). Опыты проводились в плоскодонных колбах с объемом питательной среды Кнопа - 50 мл. Экспозиция проводилась при рассеянном естественном освещении и температуре 21-23 °С с марта по декабрь 1984 г. Испытывались концентрации ЭДТА: 0,001, 0,01, 0,1, 1,0, 10,0, 50,0, 100,0 и 500,0 мг/л. В других экспериментах хлореллу выращивали на прудовой воде с совместными и раздельными добавками солей азота [в форме NH_4NO_3], фосфора [K_2HPO_4], железа [$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$] и ЭДТА. В процессе опытов учитывалась численность клеток, содержание хлорофилла, феопигментов и каротиноидов.

На всех этапах исследований отбор проб фитопланктона, подсчет его численности и биомассы, определение первичной продукции кислородным методом, спектрофотометрическое определение пигментов проводились по стандартным методикам /Методы физиолого-биохимического исследования водорослей..., 1975; Лаврентьева, Бульон, 1984; Scog - Unesco, 1966/.

Всего на водоемах, без учета лабораторных опытов, было собрано и обработано около 620 проб фитопланктона, проведено 348 определений первичной продукции и 120 анализов концентрации растительных пигментов планктона. Результаты исследований обрабатывались с помощью методов вариационной статистики (Плохинский, 1970).

Глава 2. Характеристика водоемов

Оз. Ямное - площадь 19,7 га, максимальная глубина - 18 м, средняя - 3,9 м. Вода полигузмозная, ее цветность по шкале Фореля-Уля-ХИХ, средняя минерализация - 46,9 мг/л, преобладают гидрокарбонаты и сульфаты. Активная реакция воды у поверхности составляет 6,0-7,6, в придонных слоях - не выше 6,0. Прозрачность воды летом варьирует от 1,0 до 1,6 м. Зона температурного скачка в июле-августе располагается на глубине 3-4 м, максимальный прогрев эпилимниона 22-23 °С. Рыбохозяйственное преобразование озера начато с 1984 г.

Оз. Мостице - площадь 12 га, максимальная глубина - 7,5 м, средняя - 3,4 м. Вода мезогузмозная, ее цветность - XI, средняя минерализация - 53,3 мг/л, преобладают гидрокарбонаты и сульфаты, pH у поверхности составляет 6,0 - 8,6, у дна - 6,0 - 6,4.

Прозрачность изменяется от 1,1 до 2,6 м. Зона температурного скачка располагается в июле - августе на глубине 3,0 - 4,0 м, максимальный прогрев эпилимниона - 22-23 °С. С глубины 4,5 -5,0 м отчетливо выражена сероводородная зона. Озеро удобрялось в 1966 - 1968 гг. и спустя 15 лет после начала его преобразования - в 1983-1987 гг.

Пруды. Имели площадь 0,1 - 0,2 га при средней глубине 0,7 - 0,9 метров. Источник водоснабжения - мелководный участок Сусканского залива Куйбышевского водохранилища. Температура воды в среднем по сезонам находилась в пределах от 18,7 до 22,3 °С, сумма тепла за период выращивания рыбы составляла 2450 - 2500 градусо-дней. Минерализация воды - около 450 мг/л. Относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы II типа (Бессонов, Привезенцев, 1987). Содержание ионов кальция - 56,1-72,1, магния - 17,0-34,0, хлоридов - 40,7-50,4, сульфатов - 15,6 - 61,7, гидрокарбонатных ионов - 103,8 - 219,8 мг/л. Содержание биогенных элементов определялось количеством внесенных удобрений и интенсивностью развития фитопланктона (см. ниже).

Глава 3. Общая характеристика фитопланктона

Фитопланктон озер. По видовому составу и продукционным характеристикам фитопланктона озера Ямного и озера Мостища имеются сведения как до их преобразования, так и в процессе проведения рыбохозяйственных мероприятий (Лаврентьева, Авинская, 1985; Лаврентьева, 1986.) В период наших наблюдений исследованные озера существенно различались по составу доминантных группировок фитопланктона.

В 1987 г. в фитопланктоне озера Ямного до начала удобрения преобладали вольвоксовые и хлорококковые из родов *Chlamydomonas*, *Phacotus*, *Dictyosphaerium*, *Pediastrum*. После внесения первой и последующих порций удобрений стали доминировать хлорококковые (*Pediastrum duplex* v. *setigera*) и синезеленые (*Lyngbya limnetica*). Осенью после окончания удобрения доминировали криптофитовые и динофитовые (*Cryptomonas ovata*, *C. marsonii*, *Gloenodinium* sp.). В оз. Мостище ярко выраженная монодоминантность альгоценозов как по численности, так и биомассе была отмечена с середины мая по июль (*L. limnetica*). В качестве субдоминантов в этот период выступали *Koliella longisetata* и *Trachelomonas hispida*. Первый развивался преимущественно в верхних (до глубины 1,5 - 2,6 м), вторые два - в придонных (6 - 7 м) слоях воды. В конце мая к ним присоединились эвгленовые (*Euglena deses* и *E. mutabilis*). С июля по сентябрь ценоз озера был полидоминантным, более или менее равномерно представленный видами синезеленых, зеленых и эвгленовых. В сентябре увеличилась численность золотистых, криптофитовых и динофитовых.

По годовой валовой первичной продукции исследованные озера отнесены к мезотрофным. В 1987 г. сезонная валовая первичная продукция озера Мостища составила 1139, озера Ямного - 860,4 ккал/м².

Фитопланктон прудов. За период исследования во всех прудах зарегистрировано 187 видов и внутривидовых таксонов водорослей. Из них синезеленых - 13, золотистых - 2, диатомовых - 30, криптофитовых - 3, динофитовых - 1, эвгленовых - 17, желтозеленых - 9, зеленых - 112 (вольвоксовых - 24, хлорококковых - 80, десмидиевых - 8). Характер смены массовых видов от весны к осени во все годы исследований был сходным. После залития прудов волжской водой по численности и биомассе доминировали центрические диатомеи (из родов *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Melosira*). реже золотистые (*Dinobryon*). В июне - августе преимущественное развитие получали зеленые и эвгленовые водоросли: многочисленные представители родов *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Oocystis*, *Crucigenia*, *Pediastrum*, *Trachelomonas*, *Phacus*. В августе увеличивалась численность синезеленых: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, реже *Gomphosphaeria lacustris*. Доля синезеленых в биомассе фитопланктона в августе, т.е. в период их максимального развития по отдельным прудам варьировала от 11,6 до 22,8%. В целом, фитопланктон прудов можно было охарактеризовать как хлорококково - диатомово - эвгленовый.

Глава 4. Стимуляция фитопланктона рыбохозяйственных водоемов минеральными удобрениями в соответствии с особенностями его функционирования

4.1. Введение в проблему

Анализ литературных материалов, посвященных указанному вопросу позволил сформулировать ряд тезисов, разработка и реализация которых на практике может повысить эффективность использования минеральных удобрений и снизить их отрицательное влияние на природную среду.

1. Рыбохозяйственные мероприятия должны быть ориентированы на сохранение высокой пластичности экосистемы, которая возможно длительное время должна сохранять гомеостаз. Поэтому биогенные элементы должны поступать в водоемы в небольших

количествах и кратковременно. В этом случае рыбопродуктивность возрастает, повышается и доля перехода первичной продукции в рыбопродукцию (Лаврентьева, Тесля, 1985; De Angelis e. a., 1989).

2. Для успешного функционирования искусственной экосистемы удобряемых водоемов должна быть сформирована определенная структура альгоценоза: сообщество с преобладанием мелкоклеточных форм, легко потребляемых зоопланктоном и являющихся высокоэффективными продуцентами кислорода. Такое условие достигается регулярным, но импульсным внесением малых доз минеральных удобрений при условии достаточной полной утилизации предыдущих их порций фитопланктоном (Лаврентьева, 1986; Gaedeke, Sommer, 1986).

3. Стимуляция фотосинтеза фитопланктона должна быть умеренной, чтобы не допускать резкого смещения карбонатного равновесия в сторону преобладания карбонатных ионов над концентрацией свободной углекислоты в водоеме. Резкие колебания pH в щелочную сторону вызывают сукцессию видового состава альгоценоза - с доминированием синезеленых (Андрейшкин, 1974; Mur - Luuc e.a, 1978; Havers, Costa, 1987; Baerl, Ustach, 1982; White e.a. 1986; Osgood, 1988; Steinberg, Harmann, 1988).

4. Следует учитывать, что фитопланктон бедных водоемов, адаптированный к низким концентрациям биогенных элементов, более "остро" реагирует на удобрения, чем фитопланктон водоемов с постоянно высоким содержанием биогенов (Лебедев и др., 1975; Лаврентьева, 1986; Никулина, 1987). Вследствии этого одинаковые дозы минеральных удобрений оказывают различное влияние на продуктивность водоемов различной степени трофии, гумификации и минерализации вод.

4.2. Реакция озерного фитопланктона на введение биогенов и основные факторы ее определяющие

Первой реакцией фитопланктона на введение биогенов в водоемы является возрастание его продукции и только затем происходит возрастание его численности и биомассы. Поэтому методы биологических испытаний в кислородной модификации позволяют достаточно объективно оценить потенциальную активность фитопланктона при изменении концентрации биогенов, прогнозировать продукционные изменения фитопланктона

водоемов под влиянием минеральных удобрений.

В проведенных нами опытах отклик фитопланктона на введение биогенов определялся прежде всего их концентрацией. В общем случае его реакция описывалась кривой, характеризующей воздействие любого лимитирующего фактора: с увеличением дозы биогенов продукция водорослей нарастала, достигая при определенной концентрации биогенов максимума, затем по мере возрастания концентрации снижалась. Воздействие различных концентраций биогенов на фитопланктон по указанной схеме наиболее четко проявлялась в опытах, поставленных в конце мая - начале июня, т.е. когда вода для опытов бралась до начала удобрения озер. Указанный период характеризовался весенним пиком в развитии фитопланктона. Ответная реакция фитопланктона на введение биогенов зависела от состава доминантных группировок и концентрации биогенов. §

На озере Ямном в 1986 г. при доминировании исключительно хлорококковых водорослей (табл.1) оптимальная концентрация биогенов составляла 0,005, а в 1987 г. - 0,0025 мгР/л (рис.). В озере Мостище в 1986 г. во время вегетации синезеленых и низком содержании в исходной воде биогенов с увеличением концентрации добавок интенсивность фотосинтеза плавно нарастала, а максимум реакции приходился на концентрацию более высокую, чем 0,05 мгР/л. На том же озере в следующем году при доминировании зеленых и синезеленых отмечалась одинаковая реакция фитопланктона в пределах концентраций биогенов от 0,0025 до 0,02 мгР/л. В этот период в воде озера отмечалось более высокое содержание общего фосфора и минерального азота. Таким образом, внесение высокой концентрации биогенов (0,05 мгР/л) не давало более высокого эффекта по сравнению с низкими (0,0025 и 0,005 мгР/л). Исключением был фитопланктон, представленный значительной долей синезеленых.

В дополнительных модельных опытах с весенним фитопланктоном из неудобряемого, олиготрофного, олигогумозного, среднеминерализованного (120 мг/л) озера Ученого нами было показано, что фитопланктон реагирует быстрее на малые дозы биогенов, но и эффект их заканчивался быстрее, тогда как действие более высоких доз, включающее в себя три фазы: ингибирование, адаптацию, стимуляцию, - оказалось более длительным. Причем и последняя фаза отстояла от начала акции на значительный период времени. По видимому, дозы биогенов, оказывающие максимальный эффект на фитопланктон должны быть выше в водоемах с большей минерализацией воды, однако

Таблица 1

Характеристика условий проведения опытов по определению влияния биогенных добавок на интенсивность фотосинтеза поздневесеннего - раннелетнего фитопланктона [биомасса, \bar{V} в мг/л]

Дата, озеро	Т °С	рН	Фосфор, мг/л		Азот минеральный, мг/л		\bar{V}	Доминанты
			Р общ.	Р мин.	N - NH ₄ ⁺ N - NO ₃ ⁻			
11.VI. 1986 г. оз. Ямное	21,3	6,3	0,07	0,02	0,38	0,24	1,8	<i>Lambertia ocellata</i> , <i>Dictyosphaerium pulchellum</i> , <i>Staurastrum</i> sp.
оз. Мостище	22,4	6,7	0,03	0,01	0,12	0,12	3,1	<i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>Lyngbya limnetica</i>
25.V. 1987 г. оз. Ямное	13,5	6,4	0,05	0,02	0,14	0,13	1,8	<i>Pediastrum duplex</i> v. <i>setigera</i> , <i>Dictyosphaerium pulchellum</i>
оз. Мостище	14,0	6,5	0,09	0,06	0,31	0,12	2,3	<i>Koliella longiseta</i> , <i>Lyngbya limnetica</i>

для окончательного суждения по этому поводу необходимы специальные исследования.

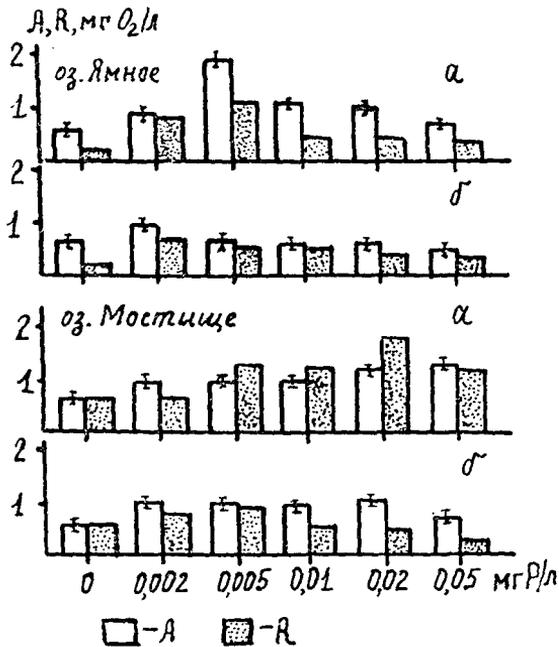


Рис. Влияние различных концентраций биогенов (мгР/л) на суточную валовую первичную продукцию (А) и деструкцию (R) планктона в эпилимнионе исследованных озер [а - VI. 1986 г., б-у. 1987г.]

В опытах, проведенных с июня по август 1987 г., было показано, что потребность фитопланктона оз. Мостища и оз. Ямного в биогенах менялась в течение рыбоводного сезона. Кроме того, во многих случаях стимуляция фотосинтеза отмечалась не только в эпилимнионе - зоне максимального фотосинтеза, но и за его пределами: на глубине двойной прозрачности и незначительно в трофолитическом слое. Указанное явление было наиболее характерно при введении минимальных концентраций солей. Сопоставление полученных данных по отдельным слоям воды показало, что характер воздействия (ингибирование или стимулирование) испытанных концентраций (0,0025 и 0,05 мгР/л), а также степень их воздействия, не зависели от общей биомассы фитопланктона и соотношения в ней отдельных видов. Указанное положение объясняется тем, что продукция фитопланктона служит результирующим вектором взаимодействия многих биотических и абиотических факторов на смешанную популяцию водорослей. В связи с этим нами был проведен пересчет интенсивности фотосинтеза на столб воды в целом.

Полученные данные можно, очевидно, трактовать как потенциальную фотосинтетическую активность фитопланктона "изолированного" столба воды при изменении его трофических условий.

На оз. Ямном стимулирующее влияние обеих испытанных концентраций биогенов усиливалось от июня к сентябрю, а на озере Мостище насыщение фитопланктона азотом и фосфором достигалось уже 20 июля (после внесения третьей порции удобрений). Об этом свидетельствовало отсутствие существенной реакции водорослей на добавление биогенов в более поздние сроки (табл. 2). В большинстве случаев низкая концентрация биогенов вызывала более значительную стимуляцию фотосинтеза по сравнению с высокой.

В целом проведенные опыты выявили более высокую потребность - в биогенах озера Ямного, удобряемого только четыре года, по сравнению с озером Мостище, в котором интенсификационные мероприятия проводились более длительное время - в течение восьми лет. При равных режимах удобрения обоих озер в летний период 1987 г. озеро Мостище по сравнению с озером Ямным характеризовалось более высоким содержанием в воде минерального азота и фосфора (0,18 мгР/л против 0,02 и 0,64 мгN/л против 0,35). Следует подчеркнуть, что и после многолетнего удобрения озера Ямного и озера Мостище их фитопланктон сохранил относительно низкую потребность в биогенах. Объясняется это тем, что кроме азота и фосфора, рост водорослей в олиготрофных озерах лимитируется кремнием, железом, многими микроэлементами и витаминами (O'Brien *et al.*, 1975; Oertli, 1972).

В результате анализа материалов по удобрению озер с целью стимуляции фитопланктона стало возможным сформулировать понятие оптимальной концентрации биогенов. Оптимальной концентрацией (или оптимальной дозой) следует считать минимальное количество солей азота и фосфора, вызывающих максимальный прирост первичной продукции планктона в кратчайший срок от их введения (обычно на первые сутки). Оптимальные дозы не имеют латентной фазы развития фитопланктона, связанной с адаптацией альгоценоза к резкому увеличению концентрации солей азота и фосфора в водоеме, во много раз превышающих природные. Для исследованных озер оптимальные концентрации находились в пределах от 0,002 до 0,005 мгР/л.

Наличие латентной фазы в развитии фитопланктона после внесения удобрений, особенно после первого за сезон удобрения олиготрофных озер, неоднократно отмечалось (Лаврентьева, 1936; 1987).

Таблица 2

Влияние различных концентраций биогенных добавок [мгР/л] на валовую суточную первичную продукцию [мгО₂/л] опытных озер в 1987 г. на глубине максимального фотосинтеза [А макс.] и в пересчете на столб воды [А]

Озеро, дата	\bar{B}	Варианты опытов [концентрация биогенных добавок]					
		контроль		0,0025		0,05	
		А макс.	\bar{A}	А макс.	\bar{A}	А макс.	\bar{A}
оз. Ямное							
21.VI.	2,1	0,54	0,12	0,67	0,07	0,42	0,06
25.VI.	2,6	1,46	0,15	1,71	0,27	1,72	0,22
30.VI.	6,5	1,24	0,23	1,21	0,29	1,46	0,20
18.VII.	10,8	1,13	0,05,	1,24	0,31	1,23	0,09
28.IX.	0,6	0,05	0,01	0,14	0,07	0,06	0,08
оз. Мостище							
14.VI.	5,7	0,83	0,55	0,92	0,63	0,72	0,63
28.VI.	14,9	1,58	0,58,	1,94	0,81	2,05	0,71
20.VII.	1,3	1,77	0,54	1,73	0,55	1,58	0,53
30.IX.	2,0	1,39	0,33	1,25	0,40	1,41	0,31

Примечание: \bar{B} - средневзвешенная биомасса фитопланктона по столбу воды [г/м³]

Исключение латентной фазы в процессе удобрения будет способствовать более эффективной утилизации фитопланктоном минеральных удобрений, а кратковременность воздействия каждой порции удобрений позволит целенаправленно регулировать продукционные процессы в водоемах путем варьирования кратностью внесения биогенов.

4.3. Роль фитопланктона в формировании газового и гидрохимического режима прудов и оптимизация способов его стимуляции минеральными удобрениями

Рыбоводные пруды подвержены значительному влиянию хозяйственных мероприятий (внесению минеральных и органических удобрений, комбикормов). Их экосистемы характеризуются значительной нестабильностью, проявлением которой является дисбаланс между процессами синтеза и деструкции. Большинство элементов планктонной части прудовой экосистемы замыкается через рН, характеризующего состояние карбонатной системы (Андрейшкин, 1975). Следовательно, для успешного функционирования прудовой экосистемы необходима умеренная стимуляция первичной продукции при обязательном наличии в прудах резерва свободной углекислоты (CO_2) для стабилизации активной реакции среды. В данном разделе приводится анализ материалов по дробному, многократному за сезон удобрению рыбоводных прудов в соответствии с динамикой свободной углекислоты и рН (см. главу 1).

Общий уровень развития фито- и зоопланктона. Среднесезонные показатели численности, биомассы фито- и зоопланктона в прудах в 1989 г. были выше по сравнению с 1990 г. Указанные различия определялись неодинаковым температурным режимом в эти годы, обусловленным погодными условиями. В течение каждого из рыбоводных сезонов с весны к осени в прудах отмечен один пик в развитии фитопланктона. Минимальные биомассы наблюдались в апреле - мае при доминировании хлорококковых и эвгленовых. Максимум биомассы растительного зоопланктона в 1989 г. приходился на июнь и июль, а в 1990 г. его биомасса с мая по август находилась практически на одном уровне (табл. 3).

Сопоставление биомасс фито- и зоопланктона показало, что фитопланктон в оба года полностью удовлетворял пищевые потребности зоопланктона. Интенсивное выедание центрических диатомей (с диаметром клеток от 4 до 15 мкм) коловратками отмечено только в мае 1989 г.. В этот период между показателями биомассы фитопланктона и зоопланктона существовала прямая отрицательная корреляционная связь [$r = -0,61$, $p > 0,99$].

В дальнейшем с ростом численности и биомассы водорослей достоверных корреляционных зависимостей между указанными показателями не было выявлено. Можно сделать вывод, что количество фитопланктона в обследованных прудах намного превышало трофические потребности зоопланктона, что было связано: 1) со значительной ролью детрита и остатков комбикорма в питании зоопланктона мелководных прудов; 2) с прессом выедания зоопланктона рыбами, ограничивающего его развитие.

Таблица 3

Соотношение средних величин биомасс фитопланктона [B_{ϕ} , г/м³ ± б], растительноядного зоопланктона [B_3 , г/м³ ± б] и температурного режима прудов в 1989 - 1990 гг.

Месяцы	Г о д ы			
	1989		1990	
	Т °С	$\frac{B_{\phi}}{B_3}$	Т °С	$\frac{B_{\phi}}{B_3}$
апрель	-	-	13,0	$\frac{23,7 \pm 8,0}{0,6 \pm 1,3}$
май	17,9	$\frac{16,5 \pm 9,8}{2,9 \pm 1,8}$	15,8	$\frac{9,5 \pm 7,3}{6,5 \pm 3,8}$
июнь	25,2	$\frac{49,2 \pm 19,8}{28,1 \pm 6,4}$	20,2	$\frac{14,8 \pm 5,1}{6,0 \pm 3,2}$
июль	24,2	$\frac{59,3 \pm 9,0}{28,3 \pm 5,1}$	24,7	$\frac{30,0 \pm 11,5}{6,0 \pm 5,1}$
август	21,4	$\frac{80,8 \pm 23,3}{12,9 \pm 1,8}$	19,9	$\frac{52,2 \pm 15,9}{6,7 \pm 1,0,5}$
в среднем	22,2	$\frac{51,5 \pm 5,8}{18,0 \pm 2,2}$	18,7	$\frac{26,0 \pm 5,9}{5,2 \pm 2,5}$

Роль фитопланктона в кислородном обеспечении прудов.

Известно, что для оптимального роста рыбы в прудах необходимо умеренное перенасыщение воды кислородом [120 - 130%] в период максимального суточного фотосинтеза планктона [Бессонов, Привезенцев, 1987]. В трех сериях экспериментов, поставленных в ясную солнечную погоду, нами установлена прямая корреляционная связь между валовой суточной первичной продукцией и степенью насыщения воды кислородом. Расположение линий регрессий на графике, а следовательно и коэффициенты их уравнений менялись в зависимости от интенсивности в прудах процессов деструкции [табл.4].

Таблица 4

Соотношение между валовой суточной первичной продукцией планктона [A, мгO₂/л] и степенью насыщения воды кислородом [O₂%]

A	R	Уравнение регрессии	r	p
7,4 - 12,5	8,0 - 10,0	17.VII.1989 г. $O_2\% = 7,22A + 40,7$	+0,73	0,99
5,4 - 24,2	7,6 - 12,1	20.VII.1989 г. $O_2\% = 7,87A + 38,7$	+0,98	0,99
2,2 - 8,4	1,1 - 4,0	16.VI. 1990 г. $O_2\% = 7,82A + 92,3$	+0,74	0,99

Примечание: R-деструкция [мгO₂/л], r-коэффициент корреляции, p - вероятность; для A и R даны пределы колебаний по отдельным прудам.

При более высоких значениях деструкции 100% насыщение воды кислородом достигалось при соответственно больших величинах валовой первичной продукции.

Отмечена также связь между отношением продукции к деструкции [A:R] и содержанием кислорода. Во всех опытах равновесному с атмосферой насыщению воды кислородом [100%] соответствовало A:R = 1. При преобладании процессов продукции над деструкцией перенасыщение среды кислородом увеличивалось. Исключением явились опыты, проведенные во время сильного ветрового перемешивания водной массы и удаления избытка кислорода в атмосферу. Следовательно, по данным

систематических наблюдений за изменением насыщения воды O_2 , при соответствующих метеорологических условиях, можно иметь обоснованное суждение о направленности в водоемах продукционно-деструкционных процессов. Таким образом может быть упрощен текущий контроль за состоянием прудов в производственных условиях.

Степень связи между содержанием O_2 в прудах и биомассой водорослей находилась в прямой зависимости от температуры воды. Значительный коэффициент корреляции ($r = +0,68$, $p > 0,99$) между биомассой водорослей и содержанием O_2 отмечались при максимальных среднемесячных температурах в июне и июле 1989 г. Равновесные концентрации O_2 , т.е. сбалансированность продукции и деструкции здесь достигались при биомассе фитопланктона около 40 г/м^3 , а оптимальные (120-130%) - при $75-90 \text{ г/м}^3$. Указанная зависимость описывалась следующим уравнением: $O_2\% = 0,57B_{\text{д}} + 78,4$. Связь между размерным составом водорослей, одним из показателей которого является отношение его численности к биомассе, и насыщением воды кислородом была более низкой ($r = +0,38$, $p > 0,95$), что определялось однородностью общего видового состава доминантных группировок фитопланктона в различных прудах. В августе при более низкой среднемесячной температуре подобной корреляционной зависимости между концентрацией O_2 и биомассой фитопланктона не было выявлено. Такие же результаты были получены при анализе среднемесячных показателей содержания O_2 и биомассы фитопланктона прудов в более холодноводный 1990 г.

Следует также отметить тесную корреляционную зависимость между степенью насыщения воды кислородом и pH водной среды, поскольку фитопланктон в процессе фотосинтеза активно поглощает CO_2 , что способствует подщелачиванию водной среды. Указанная зависимость описывалась следующим уравнением: $pH = 0,017 O_2\% + 5,95$, ($r = +0,95$, $p > 0,999$). Поэтому динамика показателя pH, также как и степень насыщения воды кислородом, может характеризовать направленность продукционно-деструкционных процессов в исследованных прудах.

Связь уровня развития фитопланктона, газового, гидрохимического режима прудов с количеством внесенных минеральных удобрений. Газовый и гидрохимический режим прудов определяется многими факторами. Существенное значение имеет нагрузка на пруды ихтиомассы. Различная выживаемость посадочного материала рыб, связанная с поражением рыб краснухой, приводила к тому, что

динамика O_2 , рН, содержание азота и фосфора в отдельных прудах были различными. В соответствии с этим нами было внесено в пруды и различное количество минеральных удобрений: чем ниже был водородный показатель (рН), тем чаще вносились минеральные удобрения.

В 1989 г. можно было выделить две группы прудов: с конечной рыбопродуктивностью 20,3 - 21,6 ц/га (I) 30,0 - 31,8 ц/га(II). В пруды первой группы было внесено в 2 раза меньше биогенов (в среднем 0,76 мгР/л и 4,97 мгN/л) по сравнению со второй (1,45 мгР/л, 8,7 мгN/л). Увеличение количества удобрений не привело к повышению содержания кислорода (в I группе суточная валовая первичная продукция умеренно преобладала над деструкцией, а во II группе указанные процессы были сбалансированы), а также биомассы фитопланктона, но способствовало увеличению среднесезонного содержания биогенов в воде (табл. 5).

Таблица 5

Среднесезонные показатели биомассы фитопланктона (B_{ϕ} , мг/л), содержания кислорода (O_2), минерального азота (N, мг/л) и фосфора (P, мг/л) в выделенных группах прудов.

Группа прудов	B_{ϕ}	O_2		P	N
		мг/л	%		
I	45,6±7,7	10,4±0,6	120±6	0,01±0,02	0,40±0,08
II	45,5±9,7	8,9±0,7	103±9	0,03±0,02	0,74±0,04

Примечание: I - пруды с конечной рыбопродуктивностью 20,3 - 21,6 ц/га, II - 30,0 - 31,8 ц/га.

В 1990 г. было внесено еще большее количество минеральных удобрений и период выращивания рыбы был более продолжительным. Как указывалось, развитие фитопланктона лимитировалось температурным фактором. Во всех прудах продукционно - деструкционные процессы были сбалансированы ($103 \pm 5\% O_2$). Увеличение концентрации удобрений привело лишь к увеличению остаточного количества минерального азота и фосфора в прудах ($0,05 \pm 0,01$ мгР/л, $0,8 \pm 0,2$ мгN/л).

В целом, сопоставление количества внесенных удобрений с уровнем развития фитопланктона, содержанием O_2 и биогенных

элементов показало, что сезонные дозы биогенов, равные 0,8 мгР/л и 5,0 мгN/л наиболее эффективно утилизируются фитопланктоном, поэтому можно считать их для исследованных прудов оптимальными. Следует подчеркнуть, что в этом случае в воде прудов не происходило накопления значительного количества минеральных форм азота и фосфора.

Высокий уровень биомассы фитопланктона, полученный в наших опытах, при низком содержании в прудовой воде минерального азота и фосфора свидетельствовали о высокой скорости оборота последних в экосистеме. Определение общего азота в воде прудов не проводилось, однако уровень общего фосфора в прудах был значительным (от 0,37 до 0,99 мгР/л). В целом внесение минеральных удобрений в пруды малыми дозами способствовало выравниваю кривой, отображающей сезонный ход развития фитопланктона.

Глава 5. Особенности воздействия искусственных комплексонов на фитопланктон (на примере ЭДТА)

5.1. Проявление и механизм воздействия

ЭДТА относится к многоосновным кислотам синтетического происхождения. Как и многие природные комплексоны (аминокислоты, оксикислоты, гуминовые соединения) указанное вещество обладает металлхелатирующим эффектом по отношению к ионам металлов. Введение ЭДТА в среду выращивания водорослей способствует предотвращению осаждения микроэлементов из водной среды, т.е. обладает буферными свойствами. Различные концентрации ЭДТА по разному воздействуют на водоросли, поскольку комплексоном связываются последовательно имеющиеся в водной среде ионы различных металлов - в соответствии с константами стабильности комплексов металл-ЭДТА. Наибольшее сродство ЭДТА имеет к ионам трехвалентного железа, а наименьшее к ионам кальция и магния (Перт, 1978).

В проведенных нами лабораторных опытах с хлореллой максимальный прирост численности клеток на всех стадиях развития популяции отмечался при добавлении комплексона в среду Кнопа в концентрациях 0,1, 1,0, 10,0 мг/л, что составило соответственно $200 \pm 8,9$, $217,9 \pm 7,4$, $224,5\% \pm 6,3$ к контролю в начале логарифмической фазы роста (на шестые сутки от начала опыта), снижаясь к концу эксперимента (через три недели экспозиции культур) соответственно до $148 \pm 2,2$, $160,9 \pm 5,8$, $162,5\% \pm 6,2$ (различия были достоверными относительно контрольного

варианта без добавок при $p > 0,98$). Указанный интервал концентрации ЭДТА соответствовал плато на кривой, отображающей графически зависимость роста водоросли от дозы и, очевидно, именно этот интервал концентраций являлся оптимальным для роста хлореллы в условиях проведенного эксперимента.

Расчеты, проведенные нами на основе исходного состава питательной среды Кнопа и по константам стабильности комплексов металлов с ЭДТА, приведенных в литературе, показали, что полное связывание ионов железа комплексоном происходило при добавлении в указанную среду ЭДТА в концентрации 10,0 мг/л ($2,7 \cdot 10^{-5}$ м), которая была эквивалентна исходному содержанию в среде ионов железа. При концентрации ЭДТА 50 мг/л его избыток связывал дополнительно около 14-16% ионов кальция. Прирост клеток в последнем случае достоверно не отличался от контрольного варианта. Наиболее сильное ингибирующее влияние оказывали высокие дозы ЭДТА. Так, при кратковременном выдерживании хлореллы (в течение шести суток) на среде Кнопа, содержащей 500 мг ЭДТА/л, с последующим отмывом и пересевом клеток на свежую питательную среду без комплексона (аналогичные операции проводились и с контрольными культурами без комплексона), рост хлореллы был угнетен в первые две недели экспозиции культуры (48,1-79,4% от контроля) и восстанавливался до уровня контрольного варианта только на 18-е сутки.

Известно, что потребность в железе различных видов водорослей варьирует от 0,1 до 3,0 мг/л (Успенский, 1963). Для его связывания необходимо всего 10^{-6} - 10^{-5} М ЭДТА (т.е. 1,0-10,0 мг/л), что согласуется с известными данными об оптимальном стимулирующем эффекте указанных доз комплексона для водорослей и протонемы мхов (Вох, 1983; Henry, Jose, 1983; Chopra, Sarla, 1985; Chopra, Sumra, 1985). Избыток комплексона (более 50 мг/л) ингибирует жизнедеятельность высших водных растений и водорослей вследствие нарушения проницаемости клеточных мембран, что ведет к нарушению кальциевого, а коррелятивно и калиевого обмена организмов (Иванов и др., 1985; Марчюленене и др., 1982).

Воздействие ЭДТА на хлореллу, также как и других природных и синтетических биологически активных веществ (гиббереллинов, фенольных соединений и др.) неоднозначно: стимулируются именно те физиологические процессы в клетках, на которые была настроена в данный конкретный момент живая система. Так, в условиях недостаточной естественной освещенности, при культивировании хлореллы в декабре, под влиянием ЭДТА (1,0 - 10,0 мг/л)

наблюдалась не стимуляция клеточного деления, а интенсификация биосинтеза хлорофилла "а" /в 1,5 - 2,8 раза по сравнению с контрольным вариантом без комплексона/. Анализ результатов всех опытов, проведенных в различное время, показал прямую отрицательную зависимость между приростом клеток в средах с ЭДТА и содержанием в них хлорофилла "а" ($r = -0,49$, при $p > 0,95$). Значительный разброс данных в опытах с ЭДТА был получен по каротиноидам и фиопигментам, однако, в 90% случаев под влиянием комплексона снижалось количество первых, составляя 2-75% от контроля, и 56% опытов увеличивалось количество вторых (до 190%). Приведенные материалы могут свидетельствовать о перестройке метаболизма клеток хлореллы по извлечению металлов, главным образом железа, из несвойственных живой природе хелатов, т.е. умеренной токсичностью препарата. Последнее условие является необходимым для возникновения эффекта стимуляции.

Максимальная активация фотосинтеза (до 210%) монодоминантных популяций озерного фитопланктона в опытах, проведенных методом планируемых добавок, отмечалась в том же диапазоне концентраций ЭДТА, что и в опытах на хлорелле (0,1 - 10,0 мг/л). Пограничные концентрации комплексона, при которых стимуляция переходила в ингибирование (K_r), зависели от видовой принадлежности водорослей и их физиологической активности: для *Lyngbya limnetica* и *Anabaena flos-aquae* $K_r = 10,0$ для *Staurastrum* sp. $K_r > 500$ мг/л. Ингибирующее воздействие ЭДТА усиливалось по мере старения популяции водорослей. Полученные результаты свидетельствуют о различной способности водорослей к извлечению металлов из комплексов с ЭДТА и изменении активности экзаметаболитов клеток - переносчиков металлов из среды в клетку в процессе их жизненного цикла. Устойчивость десмидиевых водорослей к высоким дозам комплексона ЭДТА возможно объясняет их обилие в гумифицированных водах, поскольку гуматы являются естественными комплексообразующими соединениями. Установлено, что добавление гуминовых кислот вызывает изменение метаболизма фитопланктона, аналогичные наблюдаемым при добавлении ЭДТА (Mina, Morisane 1988). Однако нами показано, что ионы металлов в комплексе с ЭДТА менее доступны для водорослей, чем в комплексе с гуматами, что проявляется в высокой биологической активности низких концентраций комплексона.

Таким образом, степень стимулирующего эффекта ЭДТА по отношению к водорослям определяется концентрацией комплексона, видовой принадлежностью водорослей, их физиологической

активностью и гидрохимическим составом среды. Проведенные нами исследования позволили отнести комплексон ЭДТА к истинным стимуляторам роста в соответствии с классификацией Ю.В. Рахитина (1983).

5.2 Влияние комплексона ЭДТА на фитопланктон рыбоводных прудов

Добавление ЭДТА в испытанных концентрациях не оказывало влияния на среднесезонные показатели развития прудового фитопланктона. В опытных нагульных прудах (1984 г.) численность водорослей в среднем за рыбоводный сезон при добавлении ЭДТА составила $18,5 \pm 2,5$ против $19,3 \pm 2,1$ млн.кл./л в контрольных, биомасса составила $10,8 \pm 0,8$ мг/л против $10,2 \pm 1,4$ мг/л. В выростных прудах (1985 г.): $29,4 \pm 3,5$ против $23,3 \pm 7,5$ млн. кл./л и $10,8 \pm 1,9$ против $10,0 \pm 1,4$ мг/л.

Ход сезонной динамики фитопланктона контрольных и опытных прудов (с ЭДТА) в оба года исследований был идентичен. Не было выявлено существенных изменений в структуре альгоценозов в опытных и контрольных прудах. Однако, после внесения во все пруды минеральных удобрений, а в опытные пруды - дополнительно ЭДТА, пики численности и биомассы фитопланктона в последних наступали на 6 - 11 суток раньше.

5.3 Оценка возможности практического использования ЭДТА в рыбохозяйственных целях

При анализе возможного практического использования комплексона ЭДТА необходимо обратить внимание на два типа его ростактивирующего воздействия на водоросли и другие организмы малыми дозами (10^{-8} - 10^{-5}) и высокими (более 10^{-4} М). В первом случае проявляются свойства ЭДТА как истинного стимулятора роста обсужденного нами выше, во втором - свойства антидота - снижает токсичность избытка тяжелых металлов (при наличии их в среде для организмов за счет образования прочных комплексов. Последний тип воздействия ЭДТА нами не рассматривался, но достаточно подробно освещен в литературе (Ноллендорф и др., 1972; Almon Boger, 1984; Kesler, 1986).

В первом случае ЭДТА широко применяется в качестве буфера по отношению к микроэлементам и входит в состав многочисленных питательных сред для культивирования водорослей микроорганизмов, клеток высших растений и животных (Метод физиолого - биохимических исследований водорослей..., 1975 Справочник по микробиологическим и вирусологическим

методам исследований, 1973). Во втором случае может применяться для снижения токсичности нежелательных ионов тяжелых металлов, например ионов кадмия, при выращивании креветок в производственных условиях (Goncalves e.a., 1989), а также в производстве искусственных комбикормов (Мельникова, 1988).

Наши попытки непосредственного введения ЭДТА в рыбоводные пруды малыми дозами не выявили каких-либо преимуществ данного стимулятора перед предложенным способом дробного удобрения прудов в соответствии с направленностью в них продукционно - деструкционных процессов. Так, в 1984 г. прирост рыбопродукции в нагульных прудах с добавлением ЭДТА (1 мг/л) был выше по сравнению с контрольными в среднем на 13,5% (14,0 - 17,1 против 13,1 - 13,7 ц/га). Увеличение дозы ЭДТА в 1985 г. до 2,0 мг/л вызвало медленную гибель сеголетков карпа после введения второй порции комплекса в июле: при равных прочих условиях выращивания выживаемость снизилась в 2,1, а конечная рыбопродуктивность - в 1,8 раза. Полученные данные свидетельствуют о проявлении общебиологических закономерностей воздействия синтетических комплексов на организмы как стимуляторов роста: активации метаболизма малыми и ингибировании жизнедеятельности повышенными дозами соединений. Очевидно, что оптимальные стимулирующие концентрации, а также концентрации, вызывающие ингибирование жизнедеятельности, могут быть различными для растительных и животных организмов.

ВЫВОДЫ

1. Результаты экспериментов, проведенных на двух олиготрофных в исходном состоянии озерах Севера - Запада, показывают, что реакция фитопланктона на введение биогенов определяется прежде всего их концентрацией: по мере увеличения концентрации биогенов от минимальной - продукция водорослей нарастает, достигая максимального значения при оптимальной дозе, и, по мере дальнейшего ее увеличения, первичная продукция снижается. Большие дозы действуют уже угнетающе. На малые дозы удобрений фитопланктон реагирует быстрее, чем на более высокие. Действие высоких для данного сообщества доз включает в себя три фазы: ингибирование, адаптацию, стимуляцию.

2. Оптимальной концентрацией (или оптимальной дозой) следует считать минимальное количество солей азота и фосфора, вызывающих максимальный прирост первичной продукции планктона в кратчайшие сроки от их введения (на первые сутки). Для исследованных озер оптимальные концентрации находились в

пределах от 0,002 до 0,005 мгP/л и соответственно 0,02 - 0,05 мгN/л при совместном их введении - в зависимости от состава доминантных группировок фитопланктона и исходного содержания в воде биогенов. Реакция фитопланктона на биогены менялась в течение рыбоводного сезона.

3. Применение оптимальных доз биогенов исключает длительную латентную фазу в развитии фитопланктона, связанную с адаптацией водорослей к высоким концентрациям биогенов, что способствует более эффективной утилизации фитопланктоном минеральных удобрений, а кратковременность воздействия каждой порции удобрений позволит целенаправленно регулировать продукционные процессы в водоемах путем варьирования кратностью внесения биогенов.

4. В результате экспериментальных работ на рыбоводных прудах были выявлены достаточно четкие корреляционные связи между следующими важнейшими показателями, характеризующими состояние прудовых экосистем: валовой суточной первичной продукцией и содержанием кислорода в воде; уровнем развития фитопланктона (биомассой), его размерным составом и содержанием кислорода; содержанием кислорода и pH; количеством внесенных биогенов в пруды с удобрениями, биомассой фитопланктона и содержанием минерального азота и фосфора в воде прудов. Установлена возможность контроля за направленностью продукционно - деструкционных процессов в прудах по систематическим наблюдениям за степенью насыщения воды кислородом, или pH, коррелятивно связанных между собой.

5. Стабилизация газового и гидрохимического режима рыбоводных прудов возможна за счет частого введения малых доз минеральных удобрений с учетом направленности в них продукционно - деструкционных процессов: только при наличии в водоемах резерва свободной углекислоты. Предлагаемый способ удобрения не приводит к накоплению минеральных форм азота и фосфора, к резким колебаниям pH, что ведет к выравниваю кривой, отображающей сезонный ход развития фитопланктона. Исключается применение извести для нейтрализации избытка свободной углекислоты, поскольку последняя успешно утилизируется фитопланктоном в результате фотосинтеза.

6. Исследованные пруды характеризовались высоким содержанием органических форм азота и фосфора. Введение малых концентраций минерального азота и фосфора (при условии минимального их содержания в водной среде) обеспечивало дополнительную стимуляцию автотрофных организмов, обладающих

высокой кислородной продуктивностью - преимущественно хлорококковых водорослей. Поддержание в воде высоких концентраций биогенов с помощью удобрений ведет к неуправляемости прудовых экосистем, резким сдвигам рН в щелочную сторону и, соответственно, к массовому развитию синезеленых водорослей.

7. В лабораторных и натуральных опытах установлена достаточно высокая биологическая активность комплексона ЭДТА по отношению к водорослям. Степень стимулирующего воздействия ЭДТА на фитопланктон определялась концентрацией вводимого комплексона, гидрохимическим составом среды, видовой принадлежностью водорослей и их физиологической активностью.

8. Интервал концентраций ЭДТА от 1,0 до 10,0 мг/л соответствовал плато на графической кривой зависимости доза - эффект. В этих дозах комплексона происходило наиболее полное связывание железа в хелат, что соответствовало максимальной стимуляции роста водорослей. Под влиянием комплексона ЭДТА стимулировались в первую очередь именно те физиологические процессы в клетках водорослей, на осуществление которых была направлена в данный конкретный момент живая система - в зависимости от обеспеченности среды биогенными элементами, условиями освещенности.

9. В соответствии с современной классификацией биологически активных веществ комплексон ЭДТА отнесен к группе истинных стимуляторов роста: интенсификация жизнедеятельности водорослей связана с хелатирующим эффектом на ионы биогенных металлов, в первую очередь железа, и с перестройкой метаболизма клеток по их извлечению из несвойственных живой природе комплексов металл - ЭДТА. Последнее условие является необходимым для возникновения эффекта стимуляции.

10. ЭДТА при непосредственном введении в пруды в количестве 1,0, 2,0 мг/л не оказывала влияния на среднесезонные показатели численности и биомассы фитопланктона. Однако, после введения комплексона в пруды весной, пики численности или биомассы водорослей наступали на 4-11 суток раньше по сравнению с прудами без добавок ЭДТА. В целом же применение комплексона не имело каких-либо преимуществ (по уровню развития фитопланктона, конечному выходу продукции) перед предложенным способом дробного удобрения прудов.

11. При разработке природоохранных мероприятий следует учитывать, что искусственные комплексоны, попадая в

окружающую среду через водоемы - охладители АЭС или со сточными водами химических производств, могут быть дополнительным фактором, ускоряющим развитие фитопланктона:

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В условиях рыбхоза "Сускан" удобрение прудов после их залития следует начинать после того, как уменьшится щелочность воды и рН понизится до 7,6 - 7,8. Частота внесения минеральных удобрений определяется соотношением продукционно - деструкционных процессов и в среднем составляет раз в 7-10 дней. При устойчивом преобладании продукции над деструкцией (в дневное время суток рН > 8,3, насыщение воды кислородом - более 110%) пруды не удобряются.

2. При правильном удобрении свободная углекислота в водоемах, накопленная за ночь в результате дыхания гидробионтов и разложения органического вещества, должна полностью использоваться фитопланктоном в дневное время суток в результате его фотосинтеза. При избытке свободной углекислоты в концентрациях, опасных для жизнедеятельности рыб, расчет извести следует проводить не по среднесуточному ее содержанию в воде (Практические рекомендации по применению удобрений и извести..., 1984), а по разности между утренними и вечерними измерениями, т.е. неутрализованной фитопланктоном.

3. В щелочных типах вод необходимо создавать резерв свободной углекислоты с помощью дополнительного вноса органических удобрений. Применение извести недопустимо.

4. Для успешного применения минеральных удобрений в конкретных водоемах необходим детальный анализ границ изменения рН, CO_2 , O_2 в зависимости от фотосинтетической активности фитопланктона. Соотношение их меняется в зависимости от зональной общей минерализации, ионного состава и трофности вод.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях:

1. Журавлев Ю.Н. Некоторые причины внутрисезонных сукцессий доминирующих видов фитопланктона удобряемых рыбоводных прудов. - Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, 1986, вып. 252, с. 106 - 111.

2. Журавлев Ю.Н. Влияние комплексона ЭДТА на фитопланктон рыбоводных прудов (I. Лабораторные исследования). - Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, 1987а, вып. 264, с. 83-89.

3. Журавлев Ю.Н. Влияние комплексона ЭДТА на фитопланктон рыбоводных прудов (2. Полевые исследования). - Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, 1987б, вып. 265, с. 125-135.

4. Журавлев Ю.Н. Изучение потребности удобряемого озера в биогенах методом планируемых добавок. - Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, 1988а, вып. 283, с.28-33.

5. Журавлев Ю.Н. Проявление токсичности комплексона ЭДТА по отношению к водорослям. - Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, 1988б, вып. 287, с. 125-131

6. Лаврентьева Г.М., Журавлев Ю.Н. Определение доз минеральных удобрений для повышения рыбопродуктивности озер-питомников без изменения их трофического статуса. - Сб. науч. трудов ГосНИОРХ, 1988, вып. 283, с. 34-40.

7. Шуйский В.Ф., Журавлев Ю.Н. Зависимость скорости роста некоторых видов хирономид от уровня первичной продукции в литорали малых озер. - Сб. науч. трудов ГосНИОРХ. 1988, вып. 288, с. 55-56.

Ю.Н. Журавлев