МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени А. А. ЖДАНОВА

*На правах рукописи*

ЯРУШИНА
Маргарита Ивановна

# Фитопланктон и первичная продукция рыбоводных прудов Южного Урала (на примере Чесменского рыбхоза)

03.00.18 Гидробиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Иркутск 1973

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени А. А. ЖДАНОВА

*На правах рукописи*

ЯРУШИНА
Маргарита Ивановна

# Фитопланктон и первичная продукция рыбоводных прудов Южного Урала (на примере Чесменского рыбхоза)

03.00.18 Гидробиология

Автореферат
диссертации на соискании ученой степени
кандидата биологических наук

Иркутск 1973

Работа выполнена в Институте биологии внутренних вод АН СССР в лаборатории микробиологии.

Научный руководитель — доктор биологических наук
**Ю. И. Сорокин**

Официальные оппоненты:

Доктор биологических наук **О. М. Кожова**

Кандидат биологических наук **Г. В. Кузьмин**

Ведущее учреждение — Ботанический институт АН СССР им. **В. Л. Комарова**

Автореферат разослан «13» декабря 1973 г.

Защита диссертации состоится «13» февраля 1974 г. на заседании совета биолого-почвенного факультета Иркутского госуниверситета в 10 часов по адресу:
г. Иркутск 3, ул. Сухэ Батора, 5 ауд. 35.

С диссертацией можно ознакомиться в учебной библиотеке биолого-почвенного факультета.

Ученый секретарь — **О. Попова**

# ВВЕДЕНИЕ

В создании продуктов потребления в нашей стране большая роль отводится прудовому рыбоводству, которое позволяет снабжать население непосредственно на местах таким ценным пищевым продуктом, как рыба. В связи с этим расширяются площади рыбоводных прудов и увеличивается круг проводимых в них интенсификационных мероприятий.

Известно, что в создании первичной продукции водоемов фитопланктону принадлежит основная роль, и в конечном итоге он определяет их биологическую продуктивность. Поэтому изучение видового состава и сезонного развития фитопланктона имеет важное значение для увеличения рыбопродуктивности прудов. Для эффективного использования удобрений необходимо знать действие каждого из них на первичные звенья, а также сочетания в каких должны вноситься удобрения и в какие сроки.

Прудовое рыбоводство наиболее широко ведется в колхозах и совхозах Украины, Прибалтики и в центральной полосе Советского Союза. К настоящему времени вопросы о степени развития и особенностях изменения первичной продукции фитопланктона под влиянием удобрений еще недостаточно полно изучены даже в прудах этих областей, где прудовым рыбоводством занимаются с давних пор. На Урале же они затронуты единичными исследованиями (Чирвинская, 1963, 1965, 1969).

Карповодство на Урале является новой отраслью рыбного хозяйства и в силу климатических и экономических условий лишь в последнее время получило широкое развитие. Строительство нагульных прудов и полносистемных карповых прудовых хозяйств началось в основном в последние десять лет и преимущественно в Челябинской области. Сейчас на Урале функционируют пять полносистемных карповых прудовых хозяйств, три рыбопитомника и три нагульных хозяйства.

Перспективы дальнейшего развития прудового рыбоводства на Урале заставляют проводить изучение всех звеньев трофической цепи. В связи с этим задача нашего исследования состояла в выяснении видового состава фитопланктона, его сезонной и го-

дичной периодичности развития и оценке первичной продукции под действием интенсификационных мероприятий.

Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов и списка литературы, содержащего 347 названий, из которых 44 иностранных. Текст иллюстрирован 27 таблицами и 38 рисунками. В приложении приводятся 78 световых микрофотографий водорослей, характерных для фитопланктона обследованных прудов, а также полный список водорослей, встреченных в этих прудах.

Объем работы: основной текст — 152 страницы машинописи, текстовые таблицы 19 страниц, диаграммы — 38 страниц, список литературы — 37 страниц, таблицы микрофотографий и объяснения к ним 20 страниц, список водорослей — 8 страниц, оглавление — 3 страницы.

## Глава I. **Специфика прудовых водоемов и их населения**

Глава посвящена литературному обзору, раскрывающему особенности морфометрии и физико-химических условий прудов. Показано, что богатство и разнообразие, а также специфические черты альгофлоры этих водоемов обусловлены целым рядом физико-химических условий. Однако, немаловажное значение в формировании ценозов принадлежит источникам заполнения прудов водой. В сезонном развитии фитопланктона прудов наблюдается периодичность смен доминирующих форм, но не во всех водоемах она четко выражена.

## Глава II. **Физико-географическая характеристика исследуемых водоемов**

Чесменский рыбхоз расположен в южной части Зауралья в переходной зоне от лесостепной к степной (Маландин, 1936; Комар, 1959). Рельеф окружающей местности холмистый, местами гористый. Невысокие с пологими склонами холмы расположены без определенной системы (Климатологич. справ., 1966).

Окружающая местность представляет собой почти разнотравно-типчаково-ковыльную степь. Лесами этот район беден, лишь в лощинах расположены отдельные колки низкорослой березы и сосны (Маландин, 1936; Комар, 1959).

Почвы рыбхоза — черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые среднемощные (Маландин, 1936; Комар, 1959; Агроклиматич. справ., 1960; Климатологич. справ., 1966).

Характерными чертами климата южных районов Урала, к которым относится Чесменский рыбхоз, являются резко выра-

женная континентальность, неустойчивость погоды и недостаточное увлажнение с периодически повторяющейся засухой (Ситнов, 1936). Сумма средних суточных температур за период с температурой выше 10° составляет 2000—2200°. Длительность периода с температурой выше 15° — 80—90 дней. Средняя продолжительность безморозного периода 110—120 дней. Годовое количество осадков равно 300—400 мм, причем 200—250 мм из них приходится на теплый период. За время исследования самым холодным и дождливым был вегетационный сезон 1968 г., особенно июль и сентябрь, но самое большое количество осадков выпало в июле 1969 г.

Чесменское карповое прудовое хозяйство, общей площадью 516 гектаров, состоит из двух отделений: Тугунский Лог, где расположена питомная часть и Черноборка, где находятся нагульные и зимовальные пруды. Пруды питомной части начали действовать лишь в 1964 г., до этого времени посадочный материал ввозился из других рыбопитомников.

Основным источником водоснабжения всех наливных прудов является головной пруд. Из головного пруда по магистральному каналу вода подается в выростные пруды; подача воды регулируется шлюзами. Экспериментальными прудами являлись лишь четыре выростных пруда: №№ 2, 5, 6, 7.

Химический режим воды исследуемых водоемов обусловливается не только почвенно-геологическими и климатическими факторами. В связи с применением интенсификационных мероприятий газовый и солевой состав воды в прудах значительно изменяется. Вода исследуемых прудов пресная, средней минерализации. Газовый режим прудов был в основном благоприятным. По содержанию биогенных элементов лишь контрольный пруд приближается к головному. В остальных же прудах было повышенное содержание азота, особенно аммонийного и нитратного. Фосфор в период интенсивной вегетации фитопланктона исчезает. Максимальное его количество отмечалось сразу же после внесения удобрений. Содержание железа и марганца приближалось к нулю, что обусловлено повышенными величинами pH воды. Активная реакция воды в прудах была щелочной, pH до 10.7. Окисляемость прудовых вод в летний период была невысокой.

## Глава III. **Материал и методика исследований**

Материалом для данной работы послужили полевые исследования, проведенные в период с 1968—1971 гг. на четырех выростных прудах Чесменского рыбхоза Челябинской области.

Изучение фитопланктона проводилось с июля по сентябрь путем стационарных наблюдений на 13 станциях. В 1968—1969 годах на прудах с кормлением и без кормления рыб испытывалось влияние различных доз азотно-фосфорных удобрений. В 1970 году было проведено сравнение эффективности минеральных различных видов органических удобрений. В 1971 году изучали эффективность различных доз органических удобрений. В процессе исследования было собрано и обработано 921 проба фитопланктона, из которых 559 количественные и 362 качественные.

Для количественного анализа пробы фитопланктона отбирались батометром Руттнера, емкостью 1,5 л. Концентрирование фитопланктона проводилось седиментационным методом, который был предложен в 1914 г. Р. Г. Гринбергом (1915) и модифицирован П. И. Усачевым (1926). Фиксированные по Утермелю (Utermöhl, 1958) в модификации Г. В. Кузьмина (1971) пробы отстаивались в течение 10—14 дней в темном и спокойном месте. После этого вода над осевшими водорослями отсасывалась с помощью трубки-сифона. Объем пробы доводился до 15—20 мл.

Подсчет пробы проводился в камере Горяева, объемом 0,9 мм$^3$. Все встреченные в камере водоросли изменялись и для каждой из них вычислялся «истинный объем» (Яшнов, 1934; Есырева, 1945; Морозова-Водяницкая, 1954; Rodhe et oth., 1958; Parsons et oth., 1961; Кумсаре, 1963; Кузьмин, 1971). При этом сначала определялся средний объем отдельных клеток водорослей приравниванием их формы к близкому геометрическому телу: параллелипипеду, эллипсоиду, шару, двум конусам, цилиндру и т. д. Вычисленные таким образом средние объемы для каждого вида, затем умножались на количество экземпляров каждого вида. Удельный вес водорослей принимался за единицу (Яшнов, 1934; Есырева, 1945).

Численность фитопланктона выражалась в тысячах клеток на 1 л воды, а биомасса — в граммах в 1 м$^3$ или под 1 м$^2$. Вычисление биомассы фитопланктона под 1 м$^2$ поверхности и средневзвешенной (интегрированной по глубине) производилось методом взвешенной средней арифметической (Плохинский, 1970). Определение биомассы фитопланктона под 1 м$^2$ поверхности дает возможность не только сравнить продуктивность различных водоемов, но и сопоставить с величиной первичной продукции и рыбопродуктивностью прудов.

Для более полного выявления видового состава наряду со взятием проб батометром собирался планктон сеткой Апштейна из мельничного сита № 76. Большинство видов и разновидностей водорослей определены в живом виде.

Параллельно с изучением видового состава и степени количественного развития фитопланктона проводились исследования интенсивности фотосинтеза фитопланктона и деструкции органического вещества скляночным методом в его кислородной модификации (Винберг, 1934, 1937; Винберг и Иванова, 1935). Склянки объемом 100—120 мл устанавливались на самой глубоководной станции, у водоспуска. Экспозиция длилась 24 часа. Всего за период исследования проведено свыше 1200 анализов определения первичной продукции и деструкции органического вещества.

Анализ сезонной и годичной динамики фотосинтеза и деструкции планктона проводился по средневзвешенным величинам, а продуктивность прудов — по валовой первичной продукции под 1 м$^2$ поверхности. Первичная продукция и деструкция под 1 м$^2$ поверхности расчитывались как взвешенные средние арифметические.

На всех станциях одновременно со сбором проб фитопланктона и определением интенсивности фотосинтеза и деструкции проводились наблюдения за температурой воды, прозрачностью, pH, газовым режимом. Содержание биогенных элементов (аммонийного, нитратного и нитритного азота, фосфора и железа) определялось сотрудниками лаборатории гидрохимии УралСибрыбНИИПроект и Челябинского Рыбтреста.

Полученные нами данные были обработаны статистически на ЭВМ «Минск-22» в ИБВВ АН СССР с применением метода корреляционного анализа.

## Глава IV. **Видовой состав фитопланктона выростных прудов**

Многочисленные и разнообразные по своей типологической характеристике водоемы Урала с давних пор привлекали к себе внимание исследователей, но альгологически они оставались слабо изученными, особенно малочисленны данные по прудам. В литературе представлены в основном материалы одноразовых гидробиологических съемок или санитарно-гигиенических характеристик колхозных прудов (Колосова, 1939; Таусон, 1947, 1949. 1954; Чирвинская, 1951, 1955, 1961; Киселев, 1954). Небольшая часть данных имеется в рукописном фонде УралСибрыбНИИПроект (Ожегова, 1941; Уломский, 1961; Нечаев, 1965). Лишь в шестидесятых годах, в связи со строительством прудовых хозяйств, начали проводиться систематические наблюдения за составом гидробионтов, в первую очередь в колхозных прудах (Чирвин-

ская, 1963, 1965, 1969), а также вступивших в строй полносистемных прудовых хозяйствах.

Нами за четыре года наблюдений в выростных прудах Чесменского рыбхоза было найдено 195 видов, разновидностей и форм водорослей, распределение которых по систематическим отделам, водоемам и годам иллюстрирует таблица 1. Большинство из найденных в прудах видов широко распространены в пресных водоемах не только Урала, но и всего земного шара.

По отношению к солености воды только 3 вида относятся к мезогалобам, все остальные являются олигогалобами, из них галофобов — 3, индифферентов — 184 и галофилов — 5.

Наибольшим видовым разнообразием отличались представители зеленых, диатомовых и синезеленых водорослей, но по продуктивности основная роль принадлежала синезеленым и зеленым водорослям.

Для всех прудов характерна частая смена комплексов доминирующих форм. В общих чертах изменения, происходящие в видовом составе, могут иллюстрировать коэффициенты общности. При сопоставлении коэффициентов общности видового состава, вычисленных нами по формуле Серенсена (Sörensen, 1948), оказалось, что наибольшая флористическая близость удобряемых и неудобряемых прудов наблюдалась в 1970 г. (К = 70—88%), а наименьшая — в 1969 г. (К = 58—70%). Влияние удобрений, причем внесенных только в больших количествах, проявлялось лишь на динамике доминирующих видов и их биомассе. Для более полной характеристики видового разнообразия прудов нами наряду с анализом доминирующих форм был применен информационный индекс таксономического разнообразия (Гиляров, 1967). С его помощью удалось выявить различия прудов на уровне систематических отделов. За все время наблюдений контрольный пруд характеризовался низкой продуктивностью и высоким таксономическим разнообразием. Однако в удобряемых прудах информационный индекс таксономического разнообразия был менее высоким, в связи с тем, что в планктоне этих прудов получала преимущественное развитие только одна, реже две или три группы фитопланктона. При внесении только минеральных удобрений по набору доминирующих форм и индексу таксономического разнообразия выделялся пруд № 7, удобрявшийся из расчета 5 мгN/л. В этом пруду не получил развития Aphanisomenon flos-aquae, хотя в самом начале вегетационного периода он встречался в планктоне. Ведущими формами были вольвоксовые (Gonium pectorale, Eudorina elegans), протококковые (Oocystis submarina) и синезеленые (Rhabdoderma lineare).

Таблица 1

**Таксономическое разнообразие фитопланктона выростных прудов Чесменского рыбхоза**

| Отделы | 1968 | | | | 1969 | | | | 1970 | | | | 1971 | | | | Всего |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 6 | 5 | 2 | 7 | 6 | 5 | 2 | 7 | 6 | 5 | 2 | 7 | 6 | 5 | 2 | 7 | |
| Cyanophyta | 12 | 10 | 6 | 12 | 7 | 10 | 8 | 11 | 14 | 11 | 8 | 13 | 6 | 6 | 7 | 5 | 30 |
| Chrysophyta | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Bacillariophyta | 19 | 12 | 16 | 13 | 14 | 14 | 13 | 7 | 15 | 12 | 7 | 7 | 6 | 4 | 12 | 7 | 36 |
| Xanthophyta | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Pyrrophyta | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 4 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 4 |
| Euglenophyta | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 11 | 7 | 7 | 7 | 7 | 4 | 5 | 4 | 15 |
| Chlorophyta | 27 | 32 | 33 | 31 | 28 | 30 | 28 | 23 | 56 | 61 | 50 | 54 | 38 | 36 | 40 | 39 | 106 |
| Всего | 60 | 58 | 61 | 61 | 51 | 57 | 53 | 42 | 102 | 92 | 74 | 85 | 59 | 52 | 65 | 57 | 195 |

При внесении органо-минерального комплекса выделяются пруды № 7 и № 2, где наблюдался к тому же и самый высокий коэффициент общности. Своеобразие этих прудов выражалось в появлении в составе планктона видов — индикаторов органического загрязнения: Carteria multifilis, Euglena viridis, E. texta, E. tripteris и др.

## Глава V. **Сезонная и годичная периодичность фитопланктона и факторы ее обусловливающие**

Видовой состав и количественное развитие фитопланктона закономерно меняются в течение сезона, что связано с изменением условий, складывающихся в прудах в тот или иной период, и с характером биологического цикла развития отдельных форм. На процесс развития планктонного сообщества в выростных прудах накладывает отпечаток сама специфика этих водоемов. Кратковременное существование, ежегодное заполнение водой приводит к тому, что формирование новых биоценозов протекает в них за короткий срок.

Синхронные в течение ряда лет наблюдения за развитием фитопланктона с первых дней заполнения выростных прудов позволили нам выявить ряд специфических особенностей формирования, динамики развития и распределения комплексов планктонных водорослей. Так, нами было показано, что ежегодный процесс становления планктонного фитоценоза заканчивается уже во второй половине июля. При этом на формирование молодого биоценоза большое влияние оказывает не только источник заполнения их водой, из которого поступает часть водорослевого комплекса, но и существенное значение в этом процессе принадлежит грунтам выростных прудов, благодаря сохранению в них большого количества цист, спор и вегетативных клеток особенно видов, достигших массового развития в предыдущем году. Этим объясняется картина длительного, иногда на протяжении ряда лет, господства отдельных видов. Так, в планктоне пруда № 2 в течение трех лет доминировал Aphanisomenon flos-aquae, а в планктоне пруда № 7 за весь период (4 года) наблюдений господство принадлежало вольвоксовым и протококковым. Ускорению процесса формирования фитопланктона в выростных прудах, в условиях южноуральских степей, способствует более раннее заполнение их водой. Дальнейший процесс развития фитопланктона связан со спецификой гидрологических условий, химизмом воды самих прудов и климатическими особенностями года.

Распределение фитопланктона по акватории прудов неравно-

мерное, причем различия наблюдаются в основном в его численном развитии. Существенной причиной такого распределения, особенно синезеленых водорослей (Aphanizomenon flos-aquae Microcystis aeruginosa и др), является ветровой сгон.

Характерной чертой динамики фитопланктона всех прудов в 1968 г. явилось наличие двух пиков биомассы. В удобряемых прудах наибольший из них (29·,2—39·5 г/м³) приходился на начало августа, а наименьший (7.0—8.1 г/м³) — на начало сентября. В контрольном пруду оба пика были несколько смещены: первый — на конец июля (11.4 г/м³), второй — на конец августа (6.6 г/м³). Господство в планктоне синезеленых (Aphanizomenon flos-aquae) в первую половину, а диатомовых и протококковых во вторую половину вегетационного сезона наблюдалось в прудах №№ 2, 5, 6. Только для планктона пруда № 7 было свойственно преобладание вольвоксовых в течение июля и августа, а синезеленых (Rhabdoderma lineare) — в сентябре. Такая особенность фитопланктона пруда № 7 объясняется различием в минеральной подкормке.

Особенность вегетации водорослей во всех прудах в 1969 г. заключалась в более низком уровне развития. В контрольном пруду биомасса фитопланктона не превышала 3 г/м³, а в удобряемых прудах максимальные величины ее варьировали от 16,2 до 43,9 г/м³. Помимо этого структура планктона, характеризующая отдельные пруды, различалась в значительно большей степени, чем в прошлом году. В июле, за исключением пруда № 7, в планктоне доминировали синезеленые (в основном Aphanizomenon flos-aquae), правда темп развития его в прудах был различным. Так в прудах № 6 (2.7 г/м³) и № 5 (14.9 г/м³) своего расцвета он достиг в первой половине июля, в то время как в пруду № 2 до конца июля шло постепенное нарастание его биомассы (до 6.0 г/м³). В планктоне пруда № 7 в июле преобладали протококковые. Августовский пик развития фитопланктона (14.8 г/м³) в пруду № 5 был обусловлен развитием пирофитовых (Cryptomonas marssonii), в пруду № 2 (43.9 г/м³) — синезеленых (Aphanizomenon flos-aquae), в пруду № 7 (27.8 г/м³) — вольвоксовых (Eudorina elegans). Сентябрьский пик развития фитопланктона, отмеченный в прудах №№ 5, 7 был вызван развитием протококковых.

В 1970 году все пруды выделялись не только по видовому составу и продуктивности фитопланктона, но и по динамике его развития.

Прежде всего обращает на себя внимание резкое увеличение биомассы фитопланктона по сравнению с предыдущими годами.

Другой особенностью явилось неравномерное развитие фитопланктона в течение вегетационного сезона. Максимум его развития приходился на конец августа (52.8—122.5 г/м$^3$). Кроме того только в этом году во всех прудах наблюдалось сильное цветение протококковыми, господствовавшими в планктоне со второй половины июля. Исключение составлял пруд № 2, где при интенсивной вегетации протококковых было отмечено массовое развитие и Aphanisomenon flos-aquae, до 30.8 г/м$^3$. Обычная картина увеличения численности синезеленых (Microcystis pulverea, Gomphosphaeria lacistris) к концу вегетационного периода, наблюдавшаяся во всех прудах в прошлые годы, не была нарушена и в этом сезоне.

Несмотря на очень низкую продуктивность фитопланктона 1971 г. в сезонной периодичности его развития во всех прудах четко прослеживались два пика: июльский, в пруду № 7 (3.8 г/м$^3$), августовский, в прудах №№ 2, 5, 6 (2.7—4.8 г/м$^3$) и сентябрьский — во всех прудах (3.1—10.3 г/м$^3$). Особенно низкий уровень развития фитопланктона был характерен для июля и начала августа, когда биомасса его не превышала 1 г/м$^3$. Наряду с этим пруды отличались и полидоминантностью планктонных сообществ.

На развитие фитопланктона в водоеме оказывает существенное влияние и ряд абиотических факторов. Нами было проведено сравнение величин биомассы фитопланктона со следующими показателями: солнечной радиацией, прозрачностью, pH, и температурой воды. Статистическая обработка полученных данных показала первое, что в исследованные годы эти факторы не лимитировали развитие фитопланктона и второе, что в условиях Южного Урала наибольшей продуктивности фитопланктон достигает в августе, когда величина инсоляции температура воды и прозрачность снижаются.

## Глава VI. **Первичная продукция и деструкция органического вещества в выростных прудах**

Учитывая кратковременность вегетационного сезона на Урале важно знать в какой период образуется основная величина валовой и чистой продукции, а также с какой интенсивностью протекают процессы фотосинтеза и деструкции в течение всего сезона в выростных прудах.

Из анализа полученных данных следует ,что в контрольном пруду интенсивность фотосинтеза в 1968 г. была очень низкой, максимальная величина ее составляла 0,95 мг $O_2$/л·сутки. В удоб-

ряемых прудах валовая первичная продукция возросла по сравнению с контрольным в 1.5—2 раза. С большей интенсивностью фотосинтез проходил в прудах № 5 (3.26 мг 0/л·сутки) и № 7 (3.20 мг $0_2$/л·сутки). Однако, процессы деструкции были выше в прудах № 7, где максимум достигал 5.56 мг $0_2$/л·сутки и № 2 (3.60 мг $0_2$/л·сутки). Следует отметить, что только в контрольном пруду продуцирование органического вещества шло почти с одинаковой скоростью и в июле и в августе, а в удобряемых прудах № 2 и № 7 наиболее продуктивным оказался июль, когда валовая первичная продукция за месяц составляла соответственно 48 и 66% сезонной продукции, в то время как в пруду № 5 55% ее приходилось на август. Однако, процессы потребления кислорода во всех прудах с большей интенсивностью проходили в конце июля и в первой половине августа.

Подводя итоги исследованиям 1969 года можно сказать, что наиболее продуктивными и в этом году были пруды № 5 и № 7. Максимальная величина валовой первичной продукции в них достигала соответственно 4.46 и 5.06 мг $0_2$/л·сутки. В отличие от прошлого года во всех удобряемых прудах свыше 50% первичной продукции фитопланктона, полученной за весь сезон, приходилось на август. Даже в контрольном пруду скорость продуцирования органического вещества в августе была несколько выше, чем в июле. Деструкционные процессы во всех прудах проходили с большей интенсивностью в начале вегетационного сезона.,

Результаты 1970 года показали, что продуцирование органического вещества во всех прудах по сравнению с предыдущими годами протекало интенсивнее. Причем ход кривых фотосинтеза и дыхания планктона в прудах до начала августа был синхронен, хотя скорость этих процессов в удобряемых прудах была значительно выше. В остальное время сезона для прудов № 2 и № 7 характерны резкие колебания фотосинтеза. В среднем же для вегетационного сезона во всех удобряемых прудах фотосинтез шел с одинаковой скоростью (2.69—2.80 мг $0_2$/л·сутки), а в контрольном пруду — 1.19 мг $0_2$/л·сутки. Однако процессы потребления кислорода протекали интенсивнее в прудах № 2 и № 5. Основное различие между удобряемыми прудами заключалось в том, что свыше 50% валовой первичной продукции, полученной за сезон, в пруду № 5 приходилось на июль, а в прудах № 2 и № 7 47% сезонной продукции образуется в августе.

Поскольку в 1971 году контрольный пруд был удобрен по общей схеме, то вполне естественно, что его продуктивность увеличилась, по сравнению с прошлыми годами. Но в целом для всех прудов в 1971 году свойственно снижение скорости продукцион-

ных процессов, что обусловлено слабым развитием фитопланктона. Кроме того в связи с неравномерным развитием фитопланктона в течение вегетационного сезона максимальные величины фотосинтеза наблюдались во второй половине вегетационного периода, от 2.15 до 5.97 мг $O_2$/л·сутки. Скорость разрушения органического вещества в прудах была невысокой и за исключением пруда № 7 не превышала фотосинтез.

Сопоставление полученных материалов с литературными данными по первичной продукции прудов показало, что южноуральские пруды по величине первичной продукции близки к выростным прудам Белоруссии (Винберг, 1960; Винберг и др., 1958; Матисоне, 1961) и относятся к прудам средней продуктивности.

Изучая сезонную динамику фотосинтеза мы уделяли при этом большое внимание анализу факторов, оказывающих существенное влияние на интенсивность этого процесса. В результате оказалось, что за исследованный период такие факторы, как солнечная радиация, pH, прозрачность, температура воды не являлись лимитирующими. В значительно большей степени фотосинтез в южноуральских выростных прудах зависел от биомассы фитопланктона. Как показала статистическая обработка полученных данных, фотосинтез находится в прямой зависимости от общей биомассы фитопланктона, если величина биомассы не превышает 30—40 г/м$^3$. Такую картину мы наблюдали в течение трехлетних исследований (1968, 1969, 1971). Аналогичное явление отмечено и в прудах средней полосы Союза (Арчакова, 1971). С дальнейшим ростом биомассы фитопланктона интенсивность фотосинтеза снижается, что объясняется понижением фотосинтетической активности планктона, на которую оказывает влияние целый ряд факторов и в первую очередь такие, как самозатенение, недостаток биогенных элементов и монодоминантность сообщества. Проведение корреляционного анализа выявило также, что при более однородном планктоне, а именно, во время преобладания в планктоне пирофитовых, синезеленых или протококковых с биомассой не превышающей соответственно 20, 40, 60 г/м$^3$, между фотосинтезом и биомассой существует более выраженная положительная связь. Коэффициент корреляции достоверен на 99% доверительном уровне.

## Глава VII. **Влияние удобрений на величину биомассы и первичной продукции фитопланктона**

Одним из основных факторов, регулирующих развитие водорослей в водоеме, является содержание биогенных элементов

(Гусева, 1947, 1952; Винберг и Ляхнович, 1965; Хатчинсон, 1969).

Из полученных нами данных следует, что в воде неудобряемых прудов Чесменского рыбхоза содержание фосфора, азота и железа очень низкое. За исследованный период максимальные величины фосфора не превышали 0.2 мг Р/л, а аммонийного и нитратного азота — 0.7 N/л. При этом в большинстве случаев наибольшее содержание биогенных элементов наблюдалось в первой половине вегетационного сезона. К концу вегетационного периода биогенные элементы, особенно азот и фосфор, часто полностью использовались фитопланктоном.

Внесение азотно-фосфорных удобрений, в заданных нами концентрациях, способствовало в основном повышению содержания азота. Содержание же фосфора оставалось почти на одном уровне с контрольным прудом. Даже при внесении органических удобрений величины его во всех прудах были близки. Наибольшее количество фосфора отмечалось в воде прудов в первой половине вегетационного сезона.

К настоящему времени накоплен достаточно большой материал об оптимальных дозах биогенных элементов для развития различных видов и групп фитопланктона (Гусева, 1936, 1952, 1965; Успенская, 1953). Из наших данных следует, что в большинстве случаев в удобряемых прудах имелось достаточное, а в пруду №7 даже избыточное количество азота. Правда, фосфор и железо почти всегда находились в недостатке. Однако, имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о том, что при сопоставлении количества биогенных элементов с биомассой водорослей корреляционная зависимость наблюдается далеко не всегда. Проведенный нами корреляционный анализ показал положительную связь между биомассой фитопланктона и аммонийным азотом и фосфором лишь в контрольном пруду. Довольно частое отсутствие корреляционной зависимости между биомассой фитопланктона и биогенными элементами объясняется тем, что концентрация их в воде в каждый определенный момент является лишь разностью между поступлением и новообразованием с одной стороны и потреблением с другой (Винберг, 1952; Винберг и Ляхнович, 1965; Ярошенко и др., 1970). Несмотря на отсутствие корреляционной зависимости между биомассой фитопланктона и биогенными элементами в прудах, анализ биологических данных показал, что благодаря внесению удобрений можно значительно повысить продуктивность фитопланктона и в условиях Южного Урала (табл. 2). Внесение только минеральных удобрений позволило увеличить биомассу фитопланктона по сравнению с контрольным прудом от 3 до 30 раз. При этом наибольший эффект был получен

Таблица 2

**Основные результаты опытов по влиянию различных видов удобрений на биопродуктивность выростных прудов**

| Год | Номер пруда | Площадь, га | Валовая продукция, г $O_2/м^2$ | Деструкция, г $O_2/м^2$ | Биомасса фитопланктона, г/м² | Рыбопродукция, кг/га | Расход удобрений и кормов, кг/га, за сезон | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Аммиачная селитра | Суперфосфат | Органич. | Корма |
| 1968 | 6 | 8.0 | 0.79 | 0.77 | 8.73 | 70 | | Контроль | | |
| | 5 | 3.5 | 1.85 | 1.45 | 22.67 | 274 | 330 | 270 | — | — |
| | 2 | 11.0 | 1.33 | 1.79 | 25.92 | 193 | 360 | 150 | — | — |
| | 7 | 4.0 | 1.69 | 3.50 | 15.59 | 182 | 880 | 180 | — | — |
| 1969 | 6 | 8.0 | 0.68 | 1.43 | 1.33 | 45 | | Контроль | | 220 |
| | 5 | 3.5 | 2.57 | 3.48 | 13.90 | 400 | 270 | 230 | — | 630 |
| | 2 | 11.0 | 0.65 | 1.43 | 13.83 | 456 | 460 | 130 | — | 680 |
| | 7 | 4.0 | 2.28 | 2.53 | 9.25 | 214 | 650 | 220 | — | 500 |
| 1970 | 6 | 8.0 | 1.19 | 1.00 | 1.85 | 48 | | Контроль | | 105 |
| | 5 | 3.5 | 2.69 | 2.19 | 38.90 | 386 | 599 | 180 | — | 280 |
| | 2 | 11.0 | 2.80 | 1.77 | 48.26 | 299 | 320 | 105 | 450 | 280 |
| | 7 | 3.0 | 2.72 | 1.93 | 38.30 | 420 | 540 | 150 | 200 | 340 |
| 1971 | 6 | 8.0 | 1.32 | 1.08 | 1.92 | 276 | 280 | 40 | 680 | 825 |
| | 5 | 3.5 | 1.70 | 1.48 | 3.13 | 490 | 410 | 80 | 770 | 1830 |
| | 2 | 11.0 | 0.89 | 0.97 | 1.59 | 397 | 270 | 80 | 1500 | 950 |
| | 7 | 4.0 | 2.02 | 2.18 | 3.64 | 504 | 160 | 80 | 750 | 1022 |

при удобрении из расчета 1 мг N/л и 0.2 мг P/л. Повышение дозы азота до 3 мг/л не оказало существенного воздействия на продуктивность фитопланктона. Частое внесение высоких доз азота (пруд № 7) привело даже к снижению биомассы фитопланктона почти в 1.5 раза по сравнению с другими вариантами. Накопление в водоеме азота в больших количествах отразилось на составе доминирующих форм фитопланктона. Основу биомассы (свыше 80,%) в пруду № 7 составляли протококковые и вольвоксовые, а не синезеленые, как это отмечено в прудах № 2 и № 5. Согласно литературным данным (Мамонтова, 1961; Шаларь, 1966) и нашим собственным наблюдениям внесение больших доз азота не только резко снижает вегетацию синезеленых, но и отрицательно сказывается на продуктивности протококковых водорослей. Для дальнейших исследований, основываясь на рыбоводных результатах, было решено удобрять пруды из расчета 3 мг N/л и 0.2 мг P/л. В результате применения указанной дозы минеральных удобрений в сочетании с перепревшим навозом (пруд № 2) и зелеными удобрениями (пруд № 7) в 1970 году выяснилось, что весьма положительный эффект на продуктивность фитопланктона оказало совместное внесение минеральных удобрений с навозом. Биомасса фитопланктона возросла до 48.2 г/м$^2$. При этом количество вносимой аммиачной селитры было снижено почти в 1.5 раза по сравнению с другими вариантами (табл. 2), что дало ощутимый экономический эффект.

Результаты полученные в 1971 году показали, что применение органических (навоз) удобрений в сочетании с азотнофосфорными, но при двухкратном внесении последних, мало способствует повышению биомассы фитопланктона (табл. 2).

Аналогичная картина наблюдалась и при изучении первичной продукции. При испытании различных доз азота (1—5 мг N/л) в сочетании с фосфором (0.2 мг P/л) в 1968 г. наилучшие результаты были получены при расходе за сезон азотных удобрений из расчета 115 кг/га азота (табл. 2). Дальнейшее увеличение азотных удобрений привело к снижению величины валовой первичной продукции, что согласуется и с литературными данными (Hepher, 1962; Wrobel, 1965; Кузьмичева, 1969). Результаты 1969 г. подтвердили наши предварительные выводы. Действительно, наибольший эффект в южноуральских выростных прудах при внесении одних минеральных удобрений можно получить не превышая расход азотных удобрений за сезон свыше 100—110 кг N/га (табл. 2). При сравнении эффективности различных видов органических удобрений в сочетании с минеральными (1970 г.) было выяснено, что лучшие результаты дало сов-

местное внесение навоза с минеральными удобрениями. Таким образом, материалы 1970 г. еще раз показали, что максимальная величина валовой первичной продукции в южноуральских выростных прудах может быть получена при расходе азотных удобрений около 110 кг N/га, а соотношение азота и фосфора в минеральных удобрениях может варьировать от 4 : 1 до 12 : 1. Проверка эффективности удобрения прудов различными дозами органических удобрений (1971 г.) указала на меньший их эффект и на то, что в условиях Южного Урала не следует превышать расходы органических удобрений свыше 7.5 ц/га за сезон. В нашу задачу не входило давать оценку рыбохозяйственной и экономической эффективности различных видов удобрений. Однако на основании полученных данных мы можем сказать, что применение интенсификационных мероприятий, в частности удобрений и кормления, позволило увеличить не только биомассу и первичную продукцию фитопланктона, но и рыбопродуктивность прудов в несколько раз, с 45 до 500 кг/га.

## ВЫВОДЫ

1. Фитопланктон выростных прудов Чесменского рыбхоза довольно разнообразен качественно и сравнительно богат в количественном отношении. Ежегодное формирование фитопланктонных комплексов в прудах протекает за 15—20 дней. Ускорению этого процесса в условиях Южного Урала способствует более раннее заполнение прудов водой.

2. Основными источниками поступления планктонных водорослей являются головной пруд и грунты выростных прудов. Сохранение в грунтах цист, спор и вегетативных клеток отдельных водорослей в течение зимы способствовало их массовой вегетации в летний период ряда лет.

3. В процессе формирования таксономическое разнообразие фитопланктона непрерывно меняется. Наибольшим видовым разнообразием отличались представители зеленых, диатомовых и синезеленых водорослей.

4. Различия в видовом составе фитопланктона удобряемых и неудобряемых прудов незначительны. Влияние удобрений проявляется лишь в отношении состава доминирующих видов и их биомассы. По набору доминирующих форм и информационному индексу таксономического разнообразия выделялся пруд, удобрявшийся из расчета 5 мг N/л в сочетании с 0.2 мг P/л, где господство принадлежало вольвоксовым и протококковым, а среди синезеленых массового развития достигла Rhabdoderma lineare

При внесении органо-минеральных удобрений своеобразие видового состава выражалось в появлении в составе планктона видов индикаторов органического загрязнения: Carteria multifilis, Euglena texta, E. viridis, E. tripteris и др.

5. Горизонтальное распределение фитопланктона в прудах неравномерное, но различия проявляются в основном в количественном отношении.

6. Сезонная периодичность развития фитопланктона в выростных прудах характеризуется наличием одного-двух, реже трех пиков развития, приходящихся на конец июля — начало августа и конец августа — начало сентября. Как правило, июльский максимум вызывается развитием синезеленых, в основном Aphanizomenon flos-aquae, а августовский — диатомовых и протококковых.

7. Наибольшей продуктивности фитопланктон достигает в августе. Максимальная среднемесячная численность фитопланктона составляет 184.0 млн. кл/л, а биомасса 54.4 г/м$^3$.

8. Первичная продукция фитопланктона выростных прудов сравнительно невысокая. Процессы фотосинтеза зависят в первую очередь от степени развития фитопланктона. Обнаружена прямая зависимость между валовой первичной продукцией и биомассой фитопланктона в пределах до 40 г/м$^3$ сырой фитомассы.

9. Сезонная динамика фотосинтеза планктона сводится к следующему. Начало вегетационного периода характеризуется невысокой интенсивностью фотосинтеза. Со второй половины июля интенсивность фотосинтеза увеличивается, достигая первого пика в конце месяца. В августе происходит ее дальнейшее увеличение, причем в течение месяца наблюдаются два-три пика. В сентябре интенсивность фотосинтеза обычно снижается.

10. Деструкция наиболее итенсивно проходит в начале вегетационного сезона, что связано с поступлением в пруды большого количества органического вещества во время заполнения прудов водой.

11. Установлено, что около 50% и выше суммарной валовой первичной продукции за сезон в удобряемых прудах приходится на август. В неудобряемых прудах величины ее в июле и августе близки.

12. Максимальные величины фотосинтеза наблюдаются на горизонтах 5—25 см, с глубиной его интенсивность резко снижается. Процессы деструкции интенсивнее проходят на глубине 25—50 см. Толщина трофогенного слоя в удобряемых прудах составляет 60—90 см. В контрольном пруду компенсационная точка почти за весь период наблюдений располагалась у дна.

13. Изучение продукционного процесса в неудобряемых прудах показало, что развитие фитопланктона лимитируется прежде всего недостатком биогенных элементов. Внесение удобрений в значительной степени увеличило их содержание, особенно аммонийного азота с 0.1—0.3 до 0.2—1.4 мг N/л и нитратного с 0.001 — 0.5 до 0.2 — 1.6 мг N/л.

14. В связи с увеличением концентрации биогенных элементов продуктивность фитопланктона в прудах значительно возросла. Применение метода, предложенного УкрНИИРХ, позволило выяснить эффективность различных доз азотно-фосфорных удобрений и уточнить соотношение азота и фосфора во вносимых удобрениях.

15. Наиболее благоприятные результаты в отношении биомассы и первичной продукции планктона получены при внесении за сезон около 110 кг N/га и соотношение азота и фосфора 4 : 1.

16. В случае применения комбинированных удобрений наибольший эффект получен при внесении 4.5 ц/га органических удобрений в сочетании со 110 кг N/га. При этом соотношение азота и фосфора во вносимых минеральных удобрениях составляло 12 : 1.

17. Применение целого комплекса интенсификационных мероприятий позволило увеличить рыбопродуктивность южноуральских выростных прудов до 500 кг/га.

## По теме диссертации опубликованы следующие работы


1. Влияние минеральных удобрений на первичную продукцию выростных прудов Южного Урала. Тезисы докл. II съезда Всес. гидробиол. общ., Кишинев, 1970.

2. О фитопланктоне выростных прудов Чесменского рыбхоза Челябинской области. Тр. УралСибНИИРХ, т. 8, Свердловск, 1971.

3. Фитопланктон выростных прудов Чесменского рыбхоза. Сообщ. I. Сезонная динамика фитопланктона. Инф. бюлл. инст. биол. внутр, вод АН СССР, № 14, 1972.

4. Фитопланктон выростных прудов Чесменского рыбхоза. Сообщ. II. Сезонная динамика фитопланктона удобряемых прудов. Инф. бюлл. инст. биол. внутр. вод АН СССР, 17, 1973.

5. 621/№. 1974.



Подписано к печати 14/XI 1973 г. Заказ 1810

Печ. л. 1,25 Тираж 150

Цех № 5. Объединение «Полиграфист», Свердловск, Комсомольская, 70