

На правах рукописи

Попельницкая Ирина Мирельевна

ОЦЕНКА ВКЛАДА СОСТАВЛЯЮЩИХ ПЛАНКТОННОЙ БИОТЫ В ОБЩУЮ ДЕСТРУКЦИЮ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПЛАНКТОНА КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

03.00.16 – экология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Красноярск 2007

Работа выполнена на кафедре физиологии растений и биотехнологии в Институте естественных и гуманитарных наук ФГОУ ВПО «Сибирский государственный университет»

Научный руководитель: доктор биологических наук,  
профессор Виктор Моисеевич Гольд

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,  
доцент Елена Анатольевна Иванова  
кандидат биологических наук  
Татьяна Анатольевна Зотина

Ведущая организация: Институт водных и экологических проблем СО РАН

Защита состоится 14 ноября 2007 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета №К 212,099,02 при ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института естественных и гуманитарных наук ФГОУ ВПО «Сибирский государственный университет» (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79)

Автореферат разослан «13» октября 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат биологических наук, доцент

Г.Н. Скопцова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Обмен веществом и энергией являются наиболее существенными показателями, определяющими экологическое состояние водоема, включая трофический статус, самоочищающую способность и другие процессы (Винберг, 1960, 1965а, 1972, 1983; Алимов, 1989, 2000; Бульон, 1983). Статистический анализ продукционно-деструкционных процессов за многолетний период вносит весомый вклад в развитие теории функционирования водных экосистем (Алимов, 2000). В большинстве глубоководных водохранилищ при оценке энергетических потоков процессы деструкции преобладают над продукцией. Дефицит свободной энергии в системе не может быть покрыт только за счет притока аллохтонной органики (Константинов, 1982; Гольд и др., 1985), поэтому, возникает необходимость оценки вклада в деструкционные процессы отдельных составляющих основных планктонных сообществ и учета возможности потребления внеклеточных органических веществ в процессе гетеротрофного и миксотрофного питания (Гольд и др., 1993; 1998).

В связи с этим, количественная оценка дыхания составляющих планктонной биоты приобретает в последнее время все большую актуальность. Однако, несмотря на важность, данная задача вряд ли может считаться решенной однозначно, в первую очередь, это касается оценки дыхания фитопланктона. С другой стороны бактерио-, фито-, зоопланктон являются одними из основополагающих звеньев в функционировании водной экосистемы, оценка их доли дыхания - это важная научная проблема (Гольд и др., 1985; Гольд и др., 1994; Олейник, 1996), которая позволит более полно и объективно оценить энергетические потоки, самоочищающую способность водной экосистемы и осуществить вклад в разрешение глобальной проблемы чистой воды за счет рационального использования водных и биологических ресурсов, обеспечивающих экологическую безопасность региона.

**Цель** – изучить пространственно временную динамику деструкции органического вещества планктона, оценить вклад фито-, бактерио- и зоопланктона как компонентов экосистемы в общий процесс дыхания на примере глубоководного Красноярского водохранилища.

### **В связи с этим решались следующие задачи:**

- оценить вклад в деструкцию органического вещества составляющих планктона на основе экспериментальных и натурных исследований;
- провести сравнительный анализ различных методов расчета дыхания составляющих планктонной биоты;
- исследовать пространственно – временную динамику деструкции органического вещества планктона.
- выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на структурно функциональные характеристики планктонной биоты;

- на основе полученных данных уточнить современный трофический статус водохранилища.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Коэффициенты удельной интенсивности дыхания фитопланктона Красноярского водохранилища зависят от вида доминирующих водорослей. Интенсивность дыхания фитопланктона и его вклад в общую деструкцию зависит от плотности популяции водорослей. При биомассе водорослей выше  $30 \text{ г/м}^2$  или ниже  $0,3 \text{ г/м}^2$  вклад фитопланктона в общее дыхание не превышает 10 %.
2. В экосистеме глубоководного Красноярского водохранилища согласно экспериментальным и расчетным методами вклад в общее дыхание составил для: бактериопланктона –  $(54,6 \pm 2,1)\%$ , фитопланктона –  $(25,6 \pm 1,3)$ , зоопланктона –  $(9,8 \pm 0,6)$ . Соотношение вклада бактерио- и фитопланктона в общую деструкцию органического вещества зависит от условий водности. В многоводные годы превалирует дыхание бактериопланктона –  $(64,4 \pm 1,8)\%$ , в маловодные дыхание фито-  $(51,5 \pm 1,7)\%$  и бактериопланктона соизмеримы  $(47,8 \pm 1,8)\%$ .
3. Проведенный анализ различных методов расчета позволил рекомендовать физиологический способ для оценки дыхания составляющих планктонной биоты при проведении гидроэкологического мониторинга Красноярского водохранилища рекомендуется расчета.
4. Самым значительным фактором, оказывающим влияние на все составляющие планктонной биоты Красноярского водохранилища, является период его функционирования.

**Научная новизна.** В рамках комплексного экологического мониторинга глубоководного Красноярского водохранилища (за 20 летний период) впервые:

- проведена сравнительная оценка различных методов расчета дыхания основных составляющих планктона;
- оценен вклад основных составляющих планктона в общий процесс деструкции органического вещества экспериментальными и расчетными методами;
- изучена пространственно временная динамика продукционно – деструкционных процессов в водохранилище;
- выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на основные структурные и функциональные характеристики планктонной биоты;

**Практическая значимость.** Предлагаемая работа является составной частью изучения закономерностей функционирования Красноярского водохранилища. Оценка долей дыхания составляющих планктонной биоты позволяет прогнозировать экологическое состояние системы. Полученные данные входят в сервисную базу данных «Биота» (Роспатент, свидетельство № 2003620149) Работы выполнялись в процессе комплексных исследований совместно с кафедрами

физиологии и микробиологии и гидробиологии и ихтиологии, в рамках программы «Сибирь» и ее части «Чистый Енисей», в рамках госбюджетной темы «Взаимосвязь биологической комплексной (биотестирование и биоиндикация) оценки качества воды и состояния экосистем крупных водных объектов на примере бассейна Енисея» (87.1503)

На разных этапах исследования была поддержана грантами: РФФИ (№99-05-64340; № 01-04-49328); Американского фонда гражданских исследований (CRDF - №РЕС – 002); Министерством образования РФ «Университеты России – фундаментальные исследования».

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались на Всесоюзном лимнологическом совещании (Лиственничное на Байкале, 1985), VI Всесоюзном совещании: «Проблемы продукционной гидробиологии» (Санкт-Петербург, 1990), Всесоюзном совещании: «Методы изучения первичной продукции пресноводного планктона» (Борок, 1989), научных чтениях, посвященных памяти профессора Б.Г. Иоганзена (Томск, 1998), VII съезде гидробиологического общества (Ярославль, 1996), краевой научно практической конференции: «Новые технологии для управления и развития региона» (Красноярск, 2000), Всероссийской научно конференции: «Проблемы экологии и развитие городов» (Красноярск, 2000г), юбилейной конференции: «Непрерывное экологическое образование и экологические проблемы Красноярского края» (Красноярск, 2000), IX съезде гидробиологического общества РАН (Тольятти, 2006).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 17 работ, в том числе 4 в центральной печати, 1 в издании, рекомендованном ВАК.

**Личный вклад автора** заключается в планировании и проведении эксперимента с дробной фильтрацией планктона, сборе материала в составе комплексных экспедиций Красноярского государственного университета под руководством профессора Гольд З.Г. в период с 1978 по 1986 гг., обработке проб, проведении статистического анализа и интерпретации данных. При проведении эксперимента пробы отбирались и обрабатывались лично автором.

Автор выражает глубокую благодарность за ценные советы и помощь научному руководителю профессору В.М. Гольд, профессору З.Г. Гольд, профессору Е.Я. Мучкиной.

**Структура и объем работы:** Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы. Работа изложена на 101 странице, содержит 32 рисунка и 14 таблиц. Список литературы включает 161 наименований, в том числе 34 на иностранных языках.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. ДЫХАНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПЛАНКТОННОЙ БИОТЫ КАК ОБЪЕКТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ (Обзор литературы)**

Проведен анализ литературных данных определения вклада фито-, бактерио- и зоопланктона в общий процесс деструкции органического вещества на различных водоемах. Приводится анализ изменения величин дыхания состав-

ляющих планктонной биоты в зависимости от трофического статуса различных водных экосистем.

## Глава 2. ЭКОСИСТЕМА КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Заполнение началось в 1967 г., в 1970 году НПУ достиг 243 м. Полный объем водных масс – 73,3 км<sup>3</sup>, полезный – 30,4 км<sup>3</sup>. Водоохранилище вытянуто с севера на юг на 396 км, средняя ширина 6,5 км, наибольшая в районе Краснотуранского плеса – 15 км, минимальная в приплотинном районе – 2,5 км. Максимальная глубина равна 105 м (в приплотинной части), средняя - 37 м (Подлипский, Широков, 1977; Ольшанская и др., 1977). Красноярское водохранилище это глубоководный предгорный водоем, долинного типа, расположенный в двух зонах: южной – лесостепной и северной – горно-таежной. С учетом рельефа, стоковых течений и гидрологических характеристик на водохранилище выделены следующие плесы: Усть-Абаканский, Моховский, Краснотуранский (верховье), Новоселовский, Приморский (средняя часть), Щетинкинский, Приплотинный (низовье) (Ольшанская и др., 1977, Гольд и др., 2001).

Водоохранилище является водоемом сезонного регулирования, уровень воды в котором определяется главным образом режимом работы Красноярской ГЭС и величиной притока воды в водохранилище. Колебание уровня зависят от НПУ и УМО, составляющих 243 м и 225 м соответственно. В соответствии с уровнем УМО исследуемые годы можно разделить на три группы: многоводные (1980, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1992, 1995), средневодные (1978, 1979, 1982, 1991, 1994, 2000), маловодные (1981, 1989, 1990, 1993, 1996, 1997, 1998). Вода характеризуется как маломинерализованная мягкая, относящаяся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. В 1983 – 1995 гг. минерализация вод колебалась по акватории от 47 до 367 мг/л (Агеев и др., 1995). Реакция воды в основном слабощелочная, рН колеблется в интервале 7,4 – 7,6. Температура воды в поверхностном слое колеблется от 15 до 22<sup>0</sup>С, прозрачность воды равна (2,86 ± 0,12) м (Гольд, и др., 2001).

Антропогенное влияние - загрязнение нефтепродуктами в районе поступления стока от Усть – Абакана, Краснотуранска, Приморска, поступление промышленных и хозяйственных сточных вод п.п. Новоселово, Приморск, Анаш, рассеянный сток с береговой зоны, неочищенное ложе водохранилища, рекреационная нагрузка.

В составе фитопланктона зарегистрировано 239 видов водорослей (Кожевникова, 2000), относящихся к 6 основным отделам. Сезонная вариация видовой структуры фитопланктона прослеживается по основным плесам. «Цветение» вод впервые проявилось на Краснотуранском плесе где синезеленые водоросли достигали максимальных плотностей: 13 г/м<sup>3</sup>, (1982 г.) и 20 г/м<sup>3</sup> (1993 г) (Гольд и др., 1998). В межгодовой динамике четко проявляется сокращение числа видов водорослей со 188 до 90 (Гольд и др., 1998). Первичная продукция фитопланктона – 14,6 – 16,9 ккал/м<sup>3</sup>сут, деструкция органического вещества 25,9 ккал/м<sup>3</sup>сут (Иванова, 2004).

В бактериопланктоне преобладают кокки, средняя численность варьирует от 1,5 до 4,5 млн.кл /л, биомасса изменяется 0,6 до 3,5 г/м<sup>3</sup>; продукция 0,3 до 1,9 ккал/м<sup>3</sup>сут; деструкция от 1,7 до 14,4 ккал/м<sup>3</sup>сут (Мучкина, 2004).

Зоопланктон Красноярского водохранилища носит рачковый характер. В его составе в водохранилища зарегистрировано 109 видов, в том числе: коловратки – 43 вида; клadoцеры – 42; копеподы – 24 (Gold et al., 2000). Численность зоопланктона варьирует от 12538 экз/м<sup>3</sup> (1990 год) до 75153 экз/м<sup>3</sup> (1993 г.), а биомасса от 0,184 г/м<sup>3</sup> (1990) до 1,057 г/м<sup>3</sup> (1978 г.) (Гольд и др., 2000).

Видовой состав ихтиофауны представлен 22 видами рыб и одним представителем рыбообразных (минога сибирская) (Чупров., 2001). Процесс формирования ихтиофауны Красноярского водохранилища такой же, как в большинстве водохранилищ: резкое сокращение числа реофилов, ихтиоценоз на 90,5% состоит из представителей лимнофильного комплекса. По всей акватории доминируют виды: окунь, плотва сибирская, лещь (Штейнберг, 1994).

### **Глава 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Материалом для работы послужили результаты исследований Красноярского водохранилища в составе комплексных экспедиций Красноярского государственного университета. Часть материалов отбиралась и обрабатывалась автором в составе комплексных экспедиций и работе на стационаре в период с 1978 по 1986 год (отобрано и обработано 1992 пробы). Отбор проб производился на стандартных продукционных станциях Красноярского водохранилища (Гольд и др., 2000). Пробы планктона отбирались в трех повторностях с 5 функциональных горизонтов: поверхность, прозрачность (S), 2,5S, 0,5 дисфотического слоя, дно. Пробы для определения кислорода, плотности фито-, бактериопланктона отбирали батометром Молчанова, пробы зоопланктона отбирали сетью Джеди. Обработка проб проводилась по общепринятым методикам. Продукцию и деструкцию органического вещества определяли скляночным методом в кислородной модификации (Винберг, 1984). Для определения вклада основных составляющих планктона в общий процесс дыхания использовали 5 различных экспериментальных и полуэмпирических методов расчета.

Первый (1) – метод дробной фильтрации проб планктона по составляющим (зоо-,фито-, бактериопланктон). Эксперимент был проведен автором в 1983, 1984 г.г. при мониторинговых исследованиях и 1985 г. на стационаре (ст.38, 39, 40 Сыдинский залив). Для изменения соотношения плотностей составляющих планктона механическим путем, исследуемые пробы, взятые с функциональных горизонтов, последовательно фильтровались через мельничный газ № 64, мембранные фильтры с диаметром пор 0,85 мкм и 0,25 мкм (рис.1). Склянки с исходными и профильтрованными пробами (по три повторности) экспонировались *in situ* на соответствующих горизонтах в течение 6 – 8 часов. На всех этапах до и после фильтрации, и в исходных пробах определяли плотности фито-, зоо- и бактериопланктона, первичную продукцию и деструкцию органического вещества.

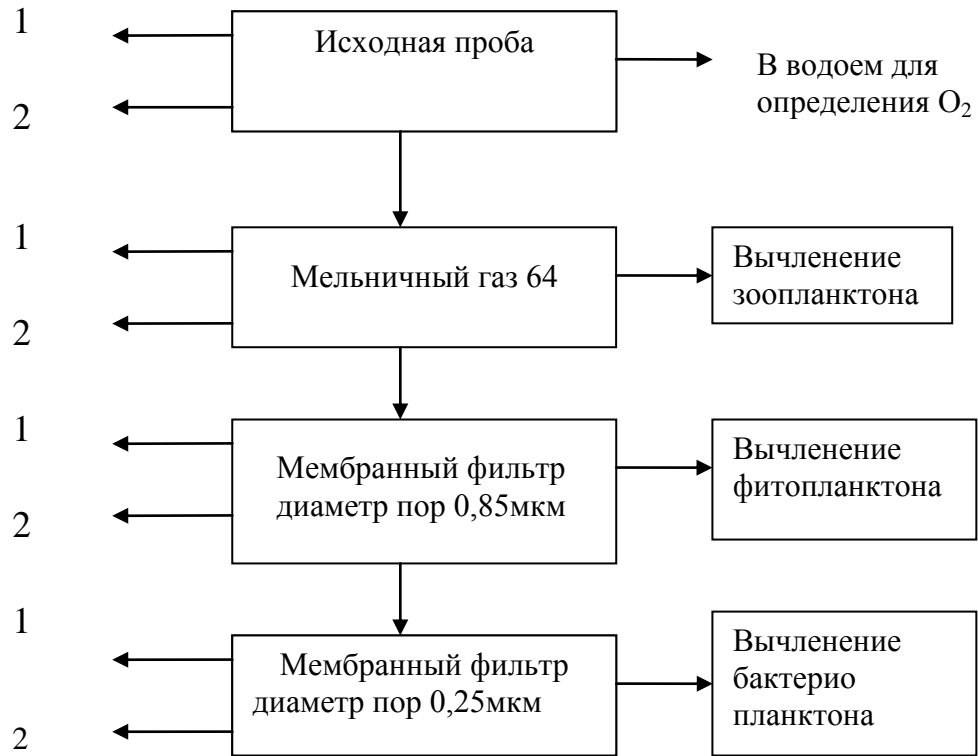


Рис.1 - Схема проведения эксперимента для одного горизонта (метод дробной фильтрации). 1,2 – пробы по 120 мл по три повторности для определения плотности фито-, бактерио- и зоопланктона непосредственно после фильтрации и после экспонирования соответственно. Одновременно на каждом этапе фильтрации отбирались пробы для определения деструкции и экспонировались *in situ* 6-8 часов.

Во втором способе (2) дыхание фитопланктона ( $R_{\phi}$ ,  $\text{гO}_2/\text{м}^3\text{сут}$ ) оценивалось как 10% максимального фотосинтеза (Приймаченко, 1981, Одум, 1986) и вычислялось по формуле:  $R_{\phi} = \frac{0.1A_{opt}B_{\phi}}{B_{форт}}$ , где  $A_{opt}$  – максимальная величина первичной продукции (на горизонте), определяемая экспериментально на каждой станции в  $\text{гO}_2/\text{м}^3\text{сут}$ .,  $B_{форт}$  – биомасса фитопланктона на этом же горизонте, в  $\text{г}/\text{м}^3$ ,  $B_{\phi}$  – биомасса фитопланктона  $\text{г}/\text{м}^2$ .

В третьем способе (3) дыхание бактериопланктона ( $R_{\sigma}$ ) и  $R_{общ}$  определяли экспериментально, дыхание зоопланктона считали равным 16% от общего (Гутельмахер, 1986, Андронникова, 1996). Дыхание фитопланктона ( $R_{\phi}$ ) вычленили из общего дыхания:  $R_{\phi} = R_o - R_{\sigma} - 0.16R_{общ}$ .

В четвертом способе (4) доли дыхания основных составляющих планктона определяли методом многомерной линейной регрессии  $k_{\phi}B_{\phi} + k_3B_3 + k_{\sigma}B_{\sigma} = R_{общ}$  (Лакин, 1980, Глотов и др., 1982).  $k_{\phi}, k_3, k_{\sigma}$  – коэффициенты удельной интенсивности дыхания (единицы биомассы) фито-, зоо- и бактериопланктона соответственно,  $B_{\phi}, B_3, B_{\sigma}$ , их биомассы на соответствующих го-



ризонтах и станциях.  $R_{общ}$ , - величина общего дыхания, на соответствующей станции или горизонте, определялась экспериментально.

В пятом полуэмпирическом способе (5) дыхание определяли физиологическим методом (Алимов, 1983, 1989, Гольд и др., 2000). Общее дыхание ( $R_{общ}$ ) в пробе определялось экспериментально, дыхание бактерио- и зоопланктона рассчитывалось по формулам:

$$R_{\sigma} = \frac{(N_t - N_0) \theta * 24}{t * 2.031g \frac{N_t}{N_0}}, \quad R_3 = \sum_{i=1}^n \frac{a_i W_i^b \bar{N}_i}{q} * 24, \text{ где } N_t, N_0 - \text{конечная и начальная чис-}$$

ленность бактерий в этой же пробе за время экспозиции  $t$ ,  $\theta$  – потребление кислорода одной бактериальной клеткой;  $a_i, W_i^b$  - скорость потребления кислорода I-того вида зоопланктона с индивидуальной массой  $W_i$ ,  $N_i$  – количество особей,  $q = 2.25^{0.1/(\theta - T)}$  - температурная поправка (Винберг, 1983). Дыхание фитопланктона ( $R_{\phi}$ ), определялось из балансового уравнения:

$$R_{\phi} = R_{общ} - R_{\sigma} - R_3$$

В дальнейшем данные способы оценки дыхания будут иметь номера, соответствующие приведенным выше (1, 2, 3, 4, 5).

Для оценки взаимосвязи биотических и абиотических показателей экосистемы Красноярского водохранилища использовали многомерный дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализы. Расчеты проводили при помощи пакета статистического анализа «Statistica 6.0». Исходные данные были получены запросами из гидробиологической базы данных Красноярского водохранилища «Биота».

#### **Глава 4. ВКЛАД СОСТАВЛЯЮЩИХ ПЛАНКТОНА КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ДЕСТРУКЦИЮ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА**

Для определения вклада компонентов планктонной биоты в деструкцию органического использовали пять вышеупомянутых способов.

Вклад составляющих планктона в общее дыхание в эвфотическом слое по результатам эксперимента составил:  $R_{\sigma}/R_{общ} = (60,1,6 \pm 1,9)\%$ ,  $R_{\phi}/R_{общ} = (29,5, \pm 4,7)\%$ ,  $R_3/R_{общ} = (10,4 \pm 1,2)\%$ ; в столбе воды:  $R_{\sigma}/R_{общ} = (61,7 \pm 3,3)\%$ ,  $R_{\phi}/R_{общ} = (28,5 \pm 7,6)\%$ ,  $R_3/R_{общ} = (9,8 \pm 2,2)\%$ .

Во втором способе расчета наряду с дыханием определяли коэффициенты удельной интенсивности дыхания фитопланктона ( $k_{\phi} = \frac{R}{B}$  гО<sub>2</sub>/г сут.). В результате расчетов был выявлен существенный разброс величин удельных интенсивностей дыхания фитопланктона, как на отдельных станциях, так и по водохранилищу в целом. Следует отметить, что величина  $k_{\phi}$  зависит от вида доминирующих на станции водорослей. Так, например на 18 и 26 станциях в июне 1983 года (максимальный фотосинтез отмечен в поверхностном слое) при прак-

тически одинаковых значениях биомасс, но разных доминирующих видах (на станции 18 по биомассе доминирует *Fragilaria crotonensis* – 62%, на станции 26 доминирует *Melosira granulata* – 76.4%), удельные интенсивности дыхания отличаются в 5 раз. На станциях 44 и 45 - Новоселовский плес в этом же сезоне и при максимальном фотосинтезе так же в поверхностном слое, при равных по величине биомассах удельные интенсивности не отличаются, их отношение равно 1. На этих станциях доминируют одни и те же водоросли – на 44 станции: *Melosira granulata*, *Asterionella Formosa* (68% в сумме вклад одинаковый); на станции 45 - *Melosira granulata*, *Asterionella Formosa* (70% в сумме вклад одинаковый). Такие же закономерности отмечены на ряде других станций Красноярского водохранилища в разные месяцы и годы исследований. При совпадении биомасс водорослей и слоя, в котором отмечен максимальный фотосинтез, коэффициенты удельной интенсивности дыхания фитопланктона ( $k_{\phi}$ ) существенно отличаются при доминировании различных водорослей и не отличаются, если доминирующими являются одни и те же виды. Так же было установлено, что амплитуда колебаний  $k_{\phi_{\max}}/k_{\phi_{\min}}$  зависит от видового разнообразия водорослей. Согласно полученным данным, наименьшая амплитуда колебаний значений коэффициентов удельной интенсивности дыхания наблюдается в 1987 году, как по месяцам (июнь, июль, август), так и за весь летний период. В 1987 г. наблюдается резкое снижение индекса Шеннона до 0,25 бит (Кожевникова, 2000). В 1987 году отмечено последовательное уменьшение амплитуды колебания  $k_{\phi_{\max}}/k_{\phi_{\min}}$  от июня к августу, что совпадает с динамикой изменения видового разнообразия, так как в сезонном аспекте отмечается закономерное снижение индекса видового разнообразия от июня к августу.

Изменение интенсивности дыхания фитопланктона меньше, чем коэффициентов удельной интенсивности, что подтверждает зависимость дыхания отдельной клетки от плотности их популяции. На ряде станций Красноярского водохранилища были выявлены следующие закономерности: дыхание фитопланктона составляет менее 10% от общего дыхания, если биомасса фитопланктона превышает  $30 \text{ г/м}^2$  или ниже  $0,3 \text{ г/м}^2$ , то есть интенсивность дыхания фитопланктона зависит от величины его биомассы. Такие же соотношения были отмечены для Днепровских водохранилищ (Приймаченко, 1981).

Вклад фитопланктона в общее дыхание, вычисленный этим способом - изменяется от 9,1% до 25,9% в эвфотической зоне и от 4,6% до 15,4% в столбе воды.

При расчете дыхания третьим способом на ряде станций суммарное дыхание бактерио- и зоопланктона было равно общему дыханию, то есть дыхание фитопланктона раялось нулю. В данном методе согласно литературным данным (Гутельмахер, 1987, Андроникова, 1993) дыхание зоопланктона принима-

лось равным 16% от общего. Для Красноярского водохранилища такой вклад зоопланктона в деструкцию органического вещества является несколько повышенным, особенно для столба воды, согласно методу дробной фильтрации он не превышает 10%. При переходе к усредненным данным данные артефакты нивелируются и в целом по водохранилищу, за исследуемый период получены следующие результаты:

$$\frac{R_{\phi}}{R_{\text{общ}}} = (30,3 \pm 3,2)\% \quad \frac{R_{\sigma}}{R_{\text{общ}}} = (53,1 \pm 3,4)\% \quad \text{эвфотический слой}$$

$$\frac{R_{\phi}}{R_{\text{общ}}} = (34,6 \pm 5,4)\% \quad \frac{R_{\sigma}}{R_{\text{общ}}} = (51,8 \pm 2,1)\% \quad \text{столб воды.}$$

При расчете четвертым способом в балансовом уравнении присутствует свободный член регрессионного уравнения (рис. 2). Наличие, которого можно объяснить тем, что в других способах расчета не учитывалось дыхание на поддержание планктонной биоты. Его величина существенно изменяется по месяцам и оси водохранилища от верховья к нижней части и годам. Свободный член регрессионного уравнения представляет собой траты кислорода на химическое окисление взвешенного и растворенного органического вещества, поэтому его изменения от почти 20% общей деструкции в июне до 5,2% в августе, вероятно, определяется притоком аллохтонной органики в весенний период.

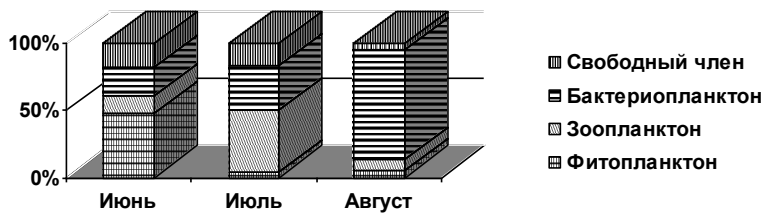


Рис. 2- Вклад фито-, бактерио- и зоопланктона в общее дыхание по месяцам, Красноярское водохранилище

По результатам регрессионного анализа, за исследуемый период вклад фитопланктона в общее дыхание в столбе воды составляет:  $(24,0 \pm 3,1)\%$ , зоопланктона -  $(8,3 \pm 2,8)\%$ , бактериопланктона -  $(59,7 \pm 7,2)\%$ .

Наименьшее количество отрицательных коэффициентов присутствует при вычислении вклада составляющих планктона в общее дыхание с использованием физиологических методов, что позволяет оценить дыхание, как на отдельных станциях, так и в целом по водохранилищу.

Вклад зоопланктона в общее дыхание, рассчитанный данным методом не превышает 10%. Вклад фито- и бактериопланктона более значим. Соотношение между вкладом фито- и бактериопланктона в общее дыхание зависит от условий водности. В многоводные годы преобладает вклад бактериопланктона в общее дыхание ( $R_{\sigma}/R_{\text{общ}} = (64,4 \pm 1,8)\%$ ;  $R_{\phi}/R_{\text{общ}} = (30,7 \pm 1,7)\%$ ;  $R_z/R_{\text{общ}} = (4,8 \pm 1,5)\%$ ). В маловодные годы дыхание фитопланктона и бактериопланктона

соизмеримы – ( $R_{\phi}/R_{\text{общ}} = (51,5 \pm 1,7)\%$ ;  $R_{\phi}/R_{\text{общ}} = (47,8 \pm 1,8)\%$ ;  $R_3/R_{\text{общ}} = (0,7 \pm 0,1)\%$ ). Возможно, это объясняется высоким уровнем продуктивности фитопланктона в маловодные и низким в многоводные, что было отмечено для ряда водохранилищ (Куйбышевское, Рыбинское, Братское). Доля дыхания зоопланктона в многоводные годы выше, чем в маловодные.

Таблица 1 - Дыхание ( $\text{гO}_2/\text{м}^2\text{сут.}$ ) основных составляющих планктона Красноярского водохранилища и их вклад в общее дыхание (%) в столбе воды за летний период (пятый способ расчета)

Год	Дыхание						
	бактериопланктон		зоопланктон		фитопланктон		общее
	$\text{гO}_2/\text{м}^2$	%	$\text{гO}_2/\text{м}^2$	%	$\text{гO}_2/\text{м}^2$	%	$\text{гO}_2/\text{м}^2$
1982*	6,30	45,8	0,18	1,3	7,29	52,9	13,77
1983**	17,81	60,4	2,62	8,9	9,05	30,7	29,48
1984**	26,74	69,5	2,57	6,7	9,17	23,8	38,48
1987**	31,07	61,3	1,49	2,9	18,11	35,8	50,67
1989	43,18	42,4	0,73	0,7	58,5	56,9	101,96
1990	32,93	54,6	0,14	0,2	27,28	45,2	60,35
1991*	31,90	51,2	0,22	0,4	30,11	48,4	62,22
1992**	17,50	66,5	0,23	0,9	8,57	32,6	26,31
1993	31,31	44,9	0,70	1,0	37,75	54,1	69,76

Многоводные \*\*; средневодные \*; маловодные – годы.

В целом за период исследований вклад в дыхание, рассчитанный физиологическим методом в эвфотической зоне составил для: бактериопланктона -  $(60,9 \pm 2,8)\%$ , фитопланктона -  $(36,2 \pm 4,2)\%$ , зоопланктона  $(2,9 \pm 0,9)\%$ . В столбе воды - дыхание бактериопланктона составило -  $(55,2 \pm 2,7)\%$ , фитопланктона -  $(42,3 \pm 2,9)\%$ , зоопланктона -  $(2,6 \pm 0,8)\%$  от общего дыхания планктона.

Вклад фито-, бактерио- и зоопланктона в общее дыхание изменяется по годам. В течение летнего периода не выявлено достоверных различий в изменении дыхания составляющих планктона, хотя можно отметить уменьшение доли дыхания бактериопланктона в общем процессе деструкции от июня к августу, возможно, это объясняется притоком аллохтонной органики в весенний период.

Все методы расчета показали, что за период исследований основной вклад в дыхание планктона Красноярского водохранилища осуществляется бактериопланктоном, данная закономерность отмечается и для других водохранилищ (Романенко, 1985; Минеева, 1987; Номоконова, 1991; Бульон, 1993; Гольд и др., 1993). При этом его величина несколько ниже, чем в других водоемах и составляет:  $R_{\phi}/R_{\text{общ}} = (54,6 \pm 2,1)\%$ . Вклад зоопланктона в общее дыхание составил  $R_3/R_{\text{общ}} = (9,8 \pm 0,6)\%$ , в то время как, по мнению ряда авторов, его величина может составлять до 50% от общего дыхания и существенно зависит от

сезона (Гутельмахер, 1986; Андроникова, 1993). Дыхание фитопланктона составило:  $\frac{R_{\phi}}{R_{\text{общ}}} = (25,6 \pm 1,3)\%$ .

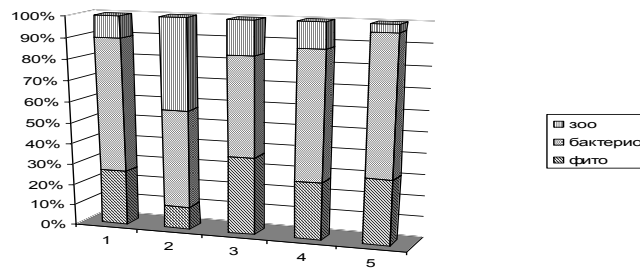


Рис. 3 - Вклад составляющих планктона в общее дыхание планктона, рассчитанный разными способами. Обозначение способов расчета в тексте.

Метод дробной фильтрации позволил определить вклад фито-, бактерио- и зоопланктона в деструкцию органического вещества Красноярского водохранилища. К недостаткам данного метода можно отнести его трудоемкость и сложность в постановке. При проведении эксперимента только на одном функциональном горизонте необходимо отобрать, а затем обработать 50 проб, что не позволяет рекомендовать его для мониторинговых исследований.

При определении дыхания как доли фотосинтеза (2) в отдельных точках измерений дыхание бактериопланктона превышало общее дыхание, что можно объяснить, прежде всего, тем, что интенсивность его дыхания определяется в фильтрованных пробах. По мнению ряда авторов, скляночные методы его определения, как радиоуглеродный, так и кислородный не учитывают отмирающую часть планктона в начале экспозиции (Биологические ..., 1985). Так же измеряемая величина частично включает дыхание других микроскопических форм гетеротрофного микропланктона. Величина коэффициентов энергетического обмена зависит от количества и качества органического вещества в водохранилище (Романенко, 1985).

Доля дыхания фитопланктона как 10% максимального фотосинтеза для Красноярского водохранилища возможно является заниженной. Следует отметить, что коэффициенты удельной интенсивности рассчитываются для эвфотической зоны, которая составляет лишь около 17% в глубоководном Красноярском водохранилище.

В третьем способе расчета завышенная доля дыхания зоо- и бактериопланктона не позволила определить дыхание фитопланктона во всех точках, где производились исследования.

Для использования метода многомерной линейной регрессии необходимы длительные многолетние мониторинговые ряды наблюдений. Он начинает хорошо работать при наличии 50 и более уравнений. Что не позволяет применять его для оценки дыхания фито-, бактерио и зоопланктона в отдельных точках измерений

Результаты расчета долей дыхания физиологическим методом позволили определить дыхание на всех исследуемых станциях. При этом следует отметить отсутствие отрицательных значений в дыхании составляющих планктонной биоты, которые были получены на отдельных станциях другими методами. Полученные данным методом величины согласуются с экспериментальными данными, полученными при последовательной фильтрации. Все выше перечисленное позволяет рекомендовать этот метод для дифференциальной оценки дыхания составляющих планктонной биоты Красноярского водохранилища при мониторинговых исследованиях.

## Глава 5. ПРОСТРАНСТВЕННО ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В связи с тем, что не было выявлено достоверных отличий в изменении дыхания фито-, бактерио и зоопланктона по акватории водохранилища (от верховья к низовью) и в течение летнего периода, было проведено исследование пространственно временной динамики экспериментально полученных величин продукции и деструкции органического вещества водохранилища.

За исследуемый период минимальное значение деструкции отмечено в 1979 г ( $0,3 \text{ гO}_2/\text{м}^3$ ) – максимальное в 1989г. ( $4,2 \text{ гO}_2/\text{м}^3$ )(рис.4).

Так же было проанализировано изменение деструкции органического по акватории водохранилища (верхний, средний, нижний участки) и в сезонном аспекте. Статистический анализ не выявил достоверных различий в пространственно временном изменении деструкции органического вещества Красноярского водохранилища ( $p > 0.05$ ,  $N=325$ ).

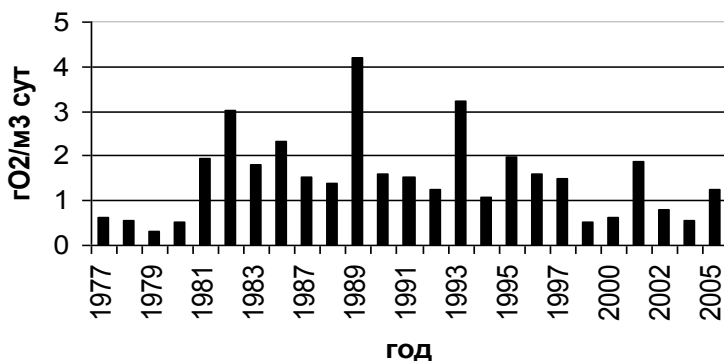


Рис.4 - Динамика средневзвешенных значений деструкции органического вещества ( $\text{гO}_2/\text{м}^3$ ) Красноярского водохранилища.

Средневзвешенные значения первичной продукции достоверно изменяются по месяцам исследований ( $p=0.0007$ ,  $N=325$ ). Наблюдается последовательное уменьшение первичной продукции от июня к августу при этом характер изменения в эвфотическом слое и столбе воды одинаков (рис.5).

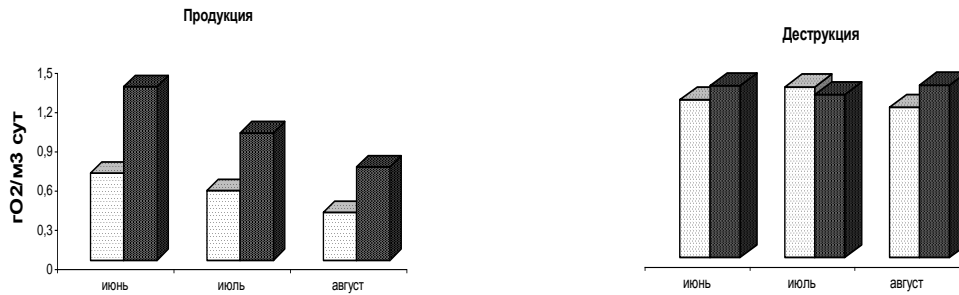


Рис.5- Сезонная динамика средневзвешенных значений ( $\text{гO}_2/\text{м}^3\text{сут}$ ) валовой первичной продукции и деструкции органического вещества планктона Красноярского водохранилища в эвфотической слое (■) и всем столбе воды (●) за период с 1978 по 2005 гг.

Анализируя продукционно – деструкционные характеристики время исследований Красноярского водохранилища разбили на пять отрезков, которые условно назвали: начальный (1) с 1978 г по 1980 г., становления (2), с 1981 по 1985 г., квазистационарный (3), с 1986 по 1990 г., стационарный (4), с 1991 по 1995 г., стабилизационный (5), с 1996 по 2000 г.

Фактором, оказывающим достоверное влияние на все исследованные составляющие планктонной биоты, стал период функционирования водохранилища: для деструкции  $p = 0,030$ , для биомасс: фитопланктона  $p = 0,060$ , бактериопланктона  $p = 0,0005$ , зоопланктона  $p = 0,0008$ . Остальные факторы оказывают достоверное влияние на изменение отдельных составляющих планктонной биоты Красноярского водохранилища. Так по слоям (эвфотический, дисфотический, столб) достоверно изменяется биомасса бактериопланктона ( $p = 0,031$ ), по участкам водохранилища достоверно изменяется биомасса зоопланктона ( $p = 0,007$ ) и бактериопланктона ( $p = 0,012$ ).

При проведении многофакторного дисперсионного анализа были выявлены некоторые закономерности изменения исследованных составляющих планктонной биоты Красноярского водохранилища. По оси водохранилища в течение летнего периода достоверно изменяется биомасса зоопланктона ( $p = 0,007$ ) и фитопланктона ( $p = 0,051$ ). По акватории водохранилища в рамках отдельного периода исследования достоверно изменяется деструкция органического вещества ( $p = 0,049$ ), биомасса фито- ( $p = 0,021$ ) и зоопланктона ( $p = 0,050$ ). В рамках периода достоверны сезонные изменения деструкции органического вещества ( $p = 0,031$ ), биомассы фито- ( $p = 0,005$ ) и бактериопланктона ( $p = 0,015$ ). В рамках одного периода исследования и месяца наблюдается достоверное различие в изменении по акватории водохранилища деструкции органического вещества ( $p = 0,035$ ), биомассы зоо- ( $p = 0,000$ ) и фитопланктона ( $p = 0,051$ ). Все остальные исследованные совокупности факторов достоверного влияния на изменения составляющих планктонной биоты не оказывают.

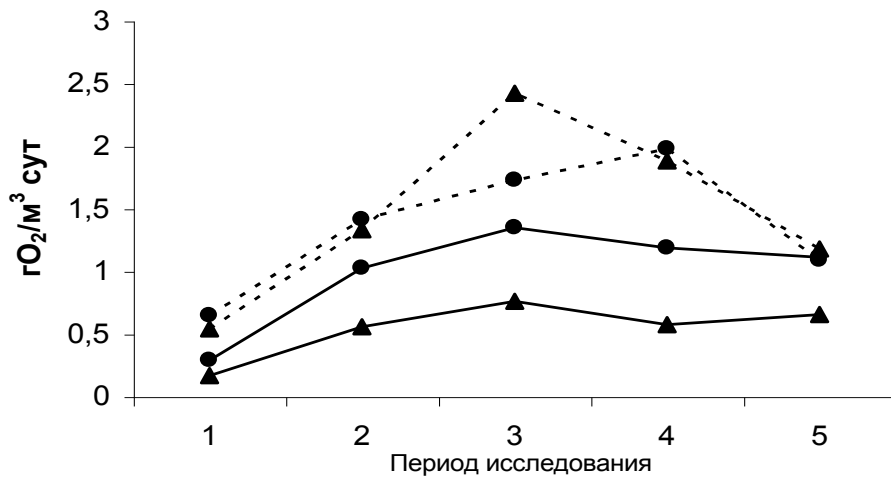


Рис. 6. Пространственная динамика средневзвешенных значений валовой первичной продукции (сплошная линия) и деструкции органического вещества (прерывистая линия) планктона в фотической зоне (●) и всем столбе воды (▲) по периодам исследования (обозначения в тексте) Красноярского водохранилища

Характер многолетней динамики первичной продукции и деструкции органического вещества Красноярского водохранилища свидетельствует о том, что в периоды от начального до квазистационарного, в водохранилище активно происходили процессы трансформации автохтонного и аллохтонного органического вещества, а в последующие годы при стабильном уровне первичной продукции, доля аллохтонного вещества значительно снизилась. Это, по-видимому, связано как со стабилизацией гидробиологического режима и утилизацией органического вещества залитой площади водохранилища, так и с уменьшением степени антропогенной нагрузки определяемой состоянием промышленного освоения прилегающих территорий.

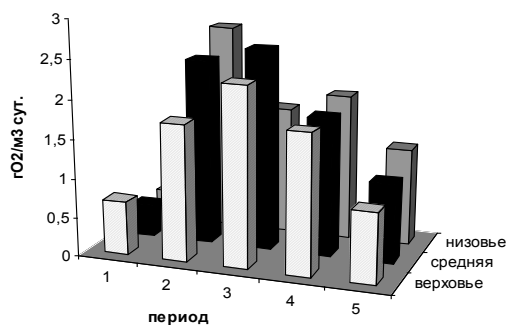


Рис. 7 - Изменение средневзвешенных значений деструкции ( $\text{гO}_2/\text{м}^3\text{сут}$ ) органического вещества по участкам (верхний, средний, нижний) Красноярского водохранилища по периодам исследования.

В начальный период деструкция последовательно убывает от  $0,99 \text{ гO}_2/\text{м}^3\text{сут}$ . в верхней части водохранилища до  $0,38 \text{ гO}_2/\text{м}^3\text{сут}$ . в нижней, во второй период динамика изменения противоположная – наблюдается последова-



тельное возрастание от  $1,76 \text{ гО}_2/\text{м}^3\text{сут.}$  в верховье до  $2,67 \text{ гО}_2/\text{м}^3\text{сут.}$  в нижней части. В третьем периоде происходит увеличение деструкции органического вещества от  $2,30 \text{ гО}_2/\text{м}^3\text{сут.}$  в верховье до  $2,57 \text{ гО}_2/\text{м}^3\text{сут.}$  в средней части, а затем уменьшение до  $1,66 \text{ гО}_2/\text{м}^3\text{сут.}$  в нижней части водохранилища. В четвертом периоде значение деструкции практически не изменяется по оси водохранилища. В пятом периоде наблюдается уменьшение деструкции от  $1,36 \text{ гО}_2/\text{м}^3\text{сут.}$  в верхней части до  $0,95 \text{ гО}_2/\text{м}^3\text{сут.}$  в средней, затем увеличение до  $1,36 \text{ гО}_2/\text{м}^3\text{сут.}$  в нижней (рис.7). Можно отметить, что сила влияния участка водохранилища (верхний, средний, нижний) как фактора постоянно уменьшается от первого периода ( $p=0,030$ ), где составляет 60% , до последнего ( $p=0,210$ ) где составляет 8% . , то есть со временем происходит выравнивание деструкционных процессов по оси водохранилища.

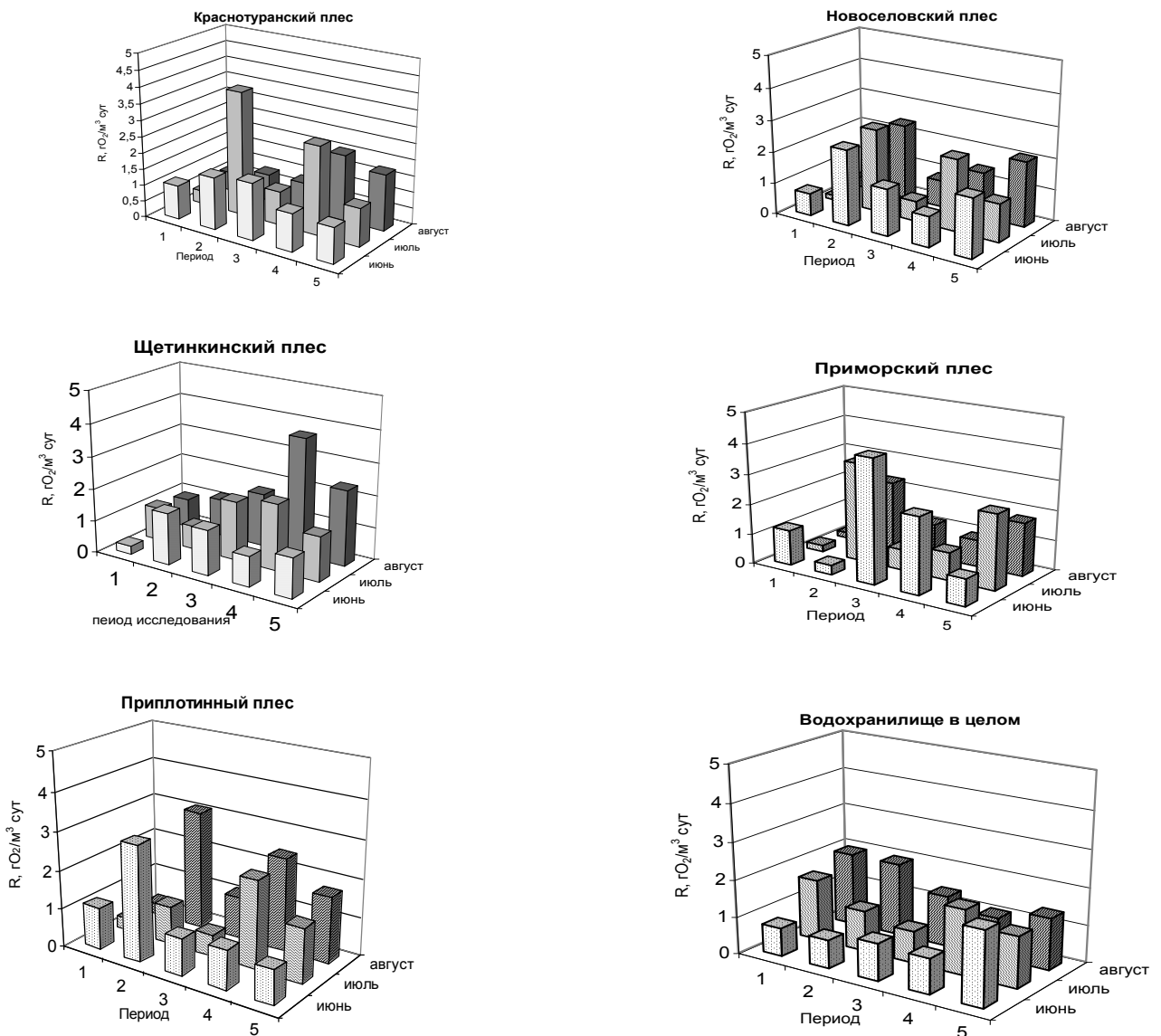


Рис. 8 - Динамика изменения деструкции в сезонном аспекте в рамках периода исследования на основных плесах и в целом по водохранилищу

На Краснотуранском плесе величина деструкции в июне была наиболее высокой в периоды становления и квазистационарном; в июле – в период становления и стационарном; в августе – в периоды стационарном и стабилизации. Наиболее выражена сезонная динамика деструкции в периоды становления и в стационарном. На Новоселовском плесе сезонные изменения в периоды начальный и становления выражены слабо, но в последующие значимо проявляются, особенно в стационарном периоде при резком увеличении в июле. На Щетинкинском плесе наряду с возрастанием средневзвешенных значений деструкции в течение периодов функционирования зарегистрировано резкое увеличение размаха колебаний этих показателей в стационарный период.

На Приплотинном плесе в наибольшей степени сезонная динамика проявлялась в периоды становления и стационарного состояния.

В целом по водохранилищу проявление сезонной динамики деструкции органического вещества планктона наиболее выражено в период становления и стационарный период. Это, по-видимому, связано как с особенностями каждого года исследований (водностью, количеством осадков, интенсивностью солнечной радиации), так и стадией функционирования экосистемы Красноярского водохранилища. Так, в межгодовой динамике средневзвешенных показателей численности бактериопланктона, Красноярского водохранилища значительное увеличение отмечено в период становления, а резкое возрастание численности всех основных составляющих планктона зарегистрировано в стационарный период [Гольд и др, 2000; Гольд и др, 2001]

## ВЫВОДЫ

1. Коэффициенты удельной интенсивности дыхания фитопланктона на различных станциях при совпадении слоя максимального фотосинтеза и биомасс водорослей не отличаются, если доминирующими являются одни и те же виды и существенно отличаются при доминировании различных видов водорослей. Минимальная амплитуда колебаний коэффициентов удельных интенсивностей дыхания фитопланктона  $k_{\phi_{\max}}/k_{\phi_{\min}}$  по месяцам (июнь, июль, август) и весь летний период отмечена в 1987 году, когда наблюдалось резкое снижение индекса Шеннона – до 0,25 бит
2. Вклад фитопланктона в общее дыхание зависит от плотности водорослей. Если биомасса фитопланктона превышает  $30 \text{ г/м}^2$  или ниже  $0,3 \text{ г/м}^2$ , то его дыхание составляет менее 10% от общего дыхания. Такие закономерности были отмечены на 26 из 32 исследованных в разные годы станций Красноярского водохранилища, что подтверждает зависимость дыхания отдельной клетки от плотности популяции.
3. Свободный член в уравнении регрессии  $C + k_{\phi} B_{\phi} + k_3 B_3 + k_6 B_6 = R_{\text{общ}}$  представляет собой траты кислорода на химическое окисление взвешенного и растворенного органического вещества, поэтому его изменения от почти 20%

общей деструкции в июне до 5,2% в августе, определяется притоком аллохтонной органики в весенний период.

4. Основной вклад в деструкцию органического вещества Красноярского водохранилища осуществляется бактериопланктоном. В среднем с учетом всех способов расчета: дыхание бактериопланктона составляет  $R_b = (54,6 \pm 2,1)\%$ , фитопланктона -  $R_f = (25,6 \pm 1,3)\%$ , зоопланктона -  $R_z = (9,8 \pm 0,6)\%$  от общего дыхания. Соотношение между вкладом фито- и бактериопланктона в общее дыхание зависит от условий водности. В глубоководные годы превалирует дыхание бактериопланктона –  $(64,4 \pm 1,8)\%$ , в маловодные - дыхание фито  $(51,5 \pm 1,7)\%$  и бактериопланктона соизмеримы  $(47,8 \pm 1,8)\%$ .
5. Проведенный многофакторный дисперсионный анализ показал, что период функционирования водохранилища оказывает достоверное влияние на все исследованные составляющие планктонной биоты: для деструкции, продукции, биомасс: фито-, бактерии-, зоопланктона ( $p < 0,05$ ,  $N=325$ ).
6. Сравнительная оценка методов расчета долей дыхания составляющих планктонной биоты выявила что:
  - экспериментальный метод дробной фильтрации трудоемок в постановке и требует обработки большого количества проб, что не позволяет рекомендовать его при проведении мониторинговых исследований;
  - расчетные методы не позволяют определить вклад составляющих биоты во всех точках измерения;
  - наименьшее количество артефактов наблюдается при расчете дыхания физиологическим методом, который позволил оценить доли дыхания фито-, бактерио- и зоопланктона во всех точках исследований. Данный метод может быть рекомендован для определения дыхания составляющих планктона при проведении гидроэкологического мониторинга Красноярского водохранилища.
7. По величинам вклада бактерио и фитопланктона в общее дыхание Красноярское водохранилище можно отнести к мезотрофному водоему с элементами эвтрофирования.

#### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Попельницкая И.М. Сравнительная оценка двух способов расчета дыхания фитопланктона Красноярского водохранилища/И.М. Попельницкая, В.М. Гольд, З.Г.Гольд, Е.Я. Мучкина // Комплексные исследования экосистем бассейна реки Енисей. Красноярск: КГУ, 1985. – с. 31 – 37.
2. Гольд В.М. О причинах нарушения второго закона термодинамики в водных экосистемах/ В.М. Гольд, З.Г.Гольд, И.М.Попельницкая //Круговорот вещества и энергии в водоемах.- Иркутск: Гидрохимия,1985. – Выпуск 7.- с. 25 – 27.
3. Гольд З.Г. Пространственно – временная динамика биологического самоочищения глубоководного водохранилища/З.Г. Гольд, Г.Н. Скопцова, О.П. Дубовская, Е.Я. Мучкина, И.М.Попельницкая //Материалы Всесо-

- юзного совещания по санитарной гидробиологии. 4.02 – 7.02 86 г., г. Москва.- Москва: МГУ, 1986. – с. 7 – 9.
4. Белоног Н.П. Отработка методики оперативного биотестирования сточных вод промышленных предприятий г. Красноярска/Н.П. Белоног, И.М. Попельницкая.- Отчет о научно – исследовательской работе. Красноярский государственный университет. № государственной регистрации 01910039287. Красноярск, 1991. – 90 с.
  5. Гольд В.М. Дыхание фитопланктона. Проблемы и методы /В.М. Гольд, Н.М. Минеева Н.М, И.М. Попельницкая, З.Г.Гольд //Методические вопросы. Изучение первичной продукции планктона внутренних водоемов. С-П,1993. – с. 66 – 74.
  6. Гольд В.М. Проблемы энергетики функционирования экосистем /В.М. Гольд, З.Г. Гольд, И.М.Попельницкая //Актуальные проблемы биологии, Красноярск: КГУ, 1994. – с. 29.
  7. Попельницкий В.А. Дыхание и энергетические проблемы функционирования экосистем/В.А. Попельницкий, Т.Н. Ануфриева, В.М.Гольд, И.М. Попельницкая //VII-й съезд гидробиологического общества РАН, октябрь 1996.- С.81-83.
  8. Гольд В.М. Дыхание фитопланктона Саянского и Красноярского водохранилищ /В.М. Гольд, В.А. Попельницкий, З.Г. Гольд, Т.Н.Ануфриева, А.В. Шапошников, И.М.Попельницкая//Эколого-физиологические исследования водорослей и их значение для оценки состояния природных вод, Ярославль: 1996.- С.23-25.
  9. Гольд В.М. Организация баз данных и их использование для изучения энергетического баланса водных экосистем/В.М. Гольд, Т.Н. Ануфриева, А.В.Шапошников, И.М. Попельницкая//Состояние водных экосистем Сибири и перспективы их использования. Томск. 1998.-с. 314-316.
  - 10.Попельницкая И.М., Сукцессионное развитие Красноярского водохранилища/И.М. Попельницкая, В.А. Попельницкий, З.Г. Гольд, В.М.Гольд, Е.Я. Мучкина //Новые технологии для управления и развития региона/Сб. материалов краевой научно-практической конференции/Под.ред. Н.Н.Довженко; КГАЦМиЗ.-Красноярск, 2000.- с.114-117.
  - 11.Попельницкая И.М. Оценка доли дыхания фитопланктона Красноярского водохранилища /И.М. Попельницкая, В.А. Попельницкий, В.М. Гольд, З.Г. Гольд, Е.Я. Мучкина, Т.Н. Ануфриева //Проблемы экологии и развитие городов. Всероссийская научно практическая конференция Красноярск. 5-6 июня 2000.- с.145-146.
  - 12.Попельницкая И.М. Дыхание фитопланктона в оценке состояния водных экосистем /И.М. Попельницкая, В.А. Попельницкий, В.М.Гольд, З.Г. Гольд, Е.Я.Мучкина, Т.Н. Ануфриева//Непрерывное экологическое образование и экологические проблемы Красноярского края материалы V-ой

- юбилейной региональной конференции. - Красноярск: СибГТУ, 2000а.- с. 90-92.
13. Попельницкая И.М. Оценка доли дыхания отдельных составляющих планктонных сообществ Красноярского водохранилища/И.М. Попельницкая, В.А. Попельницкий, З.Г. Гольд, В.М.Гольд, Е.Я.Мучкина //Проблемы использования и охраны природных ресурсов центральной Сибири. Вып.2 Красноярск: КНИИГиМС, 2000б.- с. 166-171.
  14. Попельницкая И.М. Сукцессионное развитие Красноярского водохранилища / И.М. Попельницкая, В.А. Попельницкий, З.Г. Гольд, В.М.Гольд, Е.Я.Мучкина // Новые технологии для управления и развития региона/Сб. материалов краевой научно-практической конференции/ Под.ред. Н.Н.Довженко; КГАЦМиЗ.-Красноярск,2000в.- с.114-117.
  15. Попельницкая И.М. Энергетические аспекты функционирования фитопланктона Красноярского водохранилища /И.М. Попельницкая, В.М. Гольд, З.Г. Гольд, В.А. Попельницкий, Е.Б. Миниахметова, Т.Б. Горбанева, Е.Я. Мучкина //Проблемы использования и охраны природных ресурсов центральной Сибири. Вып.3 Красноярск: КНИИГиМС, 2001.- с. 140-144.
  16. Попельницкий В.А. Анализ динамики деструкции планктона Красноярского водохранилища /В.А. Попельницкая, И.М. Попельницкая, В.М. Гольд, З.Г. Гольд, Е.Я. Мучкина // IX съезд гидробиологического общества РАН (г. Тольятти, Россия, 18-22 сентября 2006 г.), Тезисы докладов II том.- С. 97.
  17. Попельницкая И.М. Деструкция органического вещества планктона Красноярского водохранилища (1977 – 2005 г.г) /И.М. Попельницкая, В.А. Попельницкий, Е.Я. Мучкина // Вестник КрасГАУ, выпуск 15.- Красноярск, 2006.- С. 268 – 271.