

Осипов Денис Иванович

Характеристика количественного развития и видового разнообразия  
зоопланктонных сообществ водоёмов с разным уровнем радиоактивного  
загрязнения

Специальность  
03.00.01 Радиобиология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Работа выполнена в ФГУН «Уральский научно-практический центр радиационной медицины» ФМБА России

**Научный руководитель:** доктор биологических наук  
**Пряхин Евгений Александрович**

**Официальные оппоненты:**

**Ведущая организация:**

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г. в «\_\_\_» ч. на заседании диссертационного совета Д 501.001.65 при Московском государственном университете по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, в зале заседаний Ученого совета.

Адрес сайта: <http://www.bio.msu.ru/>

E-mail:

Факс

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор биологических наук

Веселова Т.В.

## Общая характеристика работы

**Актуальность проблемы.** Активизация хозяйственно-производственной деятельности человека в современных условиях природопользования и глобальные масштабы ее антропогенного воздействия на главные составляющие биосферы создают ситуацию острого общемирового экологического кризиса, обусловленную деградацией объектов окружающей среды. Одной из важнейших проблем современного производства является ограниченность энергетических ресурсов. Решением проблемы нехватки энергоносителей может являться развитие атомной энергетики. В связи с этим защита окружающей среды от неблагоприятного воздействия предприятий ядерного цикла, в том числе от радиоактивного загрязнения, становится всё более актуальной задачей. Для её решения необходимо определение безопасных уровней воздействия, что, в свою очередь, требует выявления закономерностей реакции экосистем на воздействие радиации.

Зоопланктонное сообщество, на долю которого приходится основная часть энергии, ассимилируемой животными в водной экосистеме (Андроникова, 1996), является одним из наиболее динамичных компонентов биоты водоёма. Оно чутко реагирует на воздействие естественных и антропогенных факторов изменением своих функциональных показателей и видового состава (Гиляров, 1976; Поливанная, 1978; Руководство..., 1973; Чуйков, 1978). Особенности биоценоза в целом и ценоза организмов зоопланктона как его части, в свою очередь, определяют интенсивность процессов самоочищения и формирования свойств воды конкретного водоёма (Одум, 1975). Выявление особенностей структуры и состава зоопланктонного сообщества водных экосистем, подверженных радиационному воздействию различного уровня, необходимо для выявления закономерностей изменений в зоопланктоценозе и гидробиоценозе в целом.

Существующие данные о воздействии ионизирующей радиации на зоопланктон в основном сводятся к результатам лабораторных исследований радиочувствительности отдельных видов планктонных животных (Куликов, 1970; Лебедева, 1977; Лебедева, Синевид, 1958; Онанко, 1973; Онанко, Антипова, 1977; Поликарпов, 1964; Alonzo et al., 2006; Gudkov et al., 2003; Marshall, 1966; Marshall, 1962; Poston et al., 1984; Shimada, Egami, 1985; Sources and effects..., 1996;). В работах, посвященных изучению состояния зоопланктонных сообществ в условиях многолетнего радиационного воздействия, объектом исследования почти всегда является животный планктон водных объектов с относительно невысоким уровнем радиоактивного загрязнения (Гидроэкологические последствия..., 1992; Гусева и др., 2006а,б; Лазоренко и др., 2003, 2004; Лазоренко, Поликарпов, 2004; Методы..., 1988; Пашкова, 2008; Семенова, 2000; Семенова, 2009; Чеботина и др., 1992; Fesenko, 2005, Galkovskaya, Molotkov, 2001).

Промышленные водоёмы-хранилища жидких низкоактивных отходов ПО «Маяк» несколько десятков лет испытывают высокую радиационную нагрузку. Экологический

мониторинг состояния Теченского каскада водоёмов-хранилищ (ТКВ) на сегодняшний день преимущественно сосредоточен на радиохимических и гидрохимических исследованиях воды и донных отложений. Гидробиологические исследования состояния экосистем этих водоёмов носили фрагментарный характер (Марей и др., 1952; Смагин, 2006; Смагин, 2007), исследования состояния сообществ наиболее загрязнённых водоёмов В-17 и В-9 ранее не проводились. Между тем большой диапазон уровней радиоактивного загрязнения (СБА воды изменяется от  $2,2 \times 10^3$  до  $2,3 \times 10^7$  Бк/дм<sup>3</sup>, САА – от  $2,6 \times 10^{-1}$  до  $3,1 \times 10^3$  Бк/дм<sup>3</sup>) предоставляет уникальную возможность для изучения экосистем в ряду водоёмов с увеличивающимся воздействием радиационного фактора.

**Цель работы:** выявление зависимости количественного развития, состава и структуры зоопланктонных сообществ пресных водоемов от уровня радиационного воздействия.

**Задачи исследования:**

1. Оценить воздействие на зоопланктон, связанное с радиоактивным и химическим загрязнением специальных промышленных водоёмов В-11, В-10, В-4, В-17, В-9.
2. Оценить количественные показатели развития зоопланктона (численность, биомассу) в исследуемых водоёмах.
3. Определить видовое разнообразие зоопланктонных сообществ исследуемых водоёмов.
4. Оценить зависимость изменения показателей, характеризующих зоопланктонное сообщество от уровня радиационного и химического воздействия.

**Научная новизна**

Впервые выявлены закономерности изменений структуры зоопланктонных сообществ, более 40 лет подвергающихся хроническому радиационному воздействию. На их основе определены расчётные максимальные приемлемые уровни мощности поглощённой дозы, приводящие к 5 %-ному изменению показателей, характеризующих зоопланктоценоз, по сравнению с контролем.

Впервые дана характеристика зоопланктонных сообществ в водоёмах-хранилищах среднеактивных радиоактивных отходов (оз. Карачай, Старое болото) с экстремально высокими (суммарная объемная активность бета-излучающих радионуклидов до  $2,3 \times 10^7$  Бк/л, альфа-излучающих радионуклидов до  $3,1 \times 10^3$  Бк/л) уровнями радиоактивного загрязнения.

**Теоретическая значимость**

Получены новые знания о закономерностях действия радиационного фактора на зоопланктоценоз, выявлены зависимости основных параметров, характеризующих количественное развитие и структуру зоопланктонного сообщества от мощности поглощённой дозы.

Получена информация о зоопланктонных сообществах водоёмов, характеризующихся экстремально высокими дозовыми нагрузками на биоту. Получены новые данные об адаптационных возможностях зоопланктона при загрязнении водоёмов радионуклидами.

### **Практическая значимость**

Выявленные закономерности могут быть использованы для нормирования радиационного воздействия на водные экосистемы. Результаты работы внедрены в систему экологического производственного мониторинга специальных промышленных водоемов ПО «Маяк».

Основные результаты используются в процессе обучения на кафедрах радиобиологии и биоэкологии ГОУ ВПО «Челябинский государственный университет», на кафедре анатомии и физиологии человека и животных ГОУ ВПО «Челябинский педагогический государственный университет».

### **Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Показатели видового богатства и структуры зоопланктонного сообщества являются более чувствительными к воздействию радиации, чем показатели количественного развития.
2. Определены закономерности изменений состава и структуры сообществ зоопланктона в зависимости от уровня радиационного воздействия. На основе выявленных закономерностей рассчитаны максимальные приемлемые уровни радиационного воздействия.
3. В условиях экстремально высоких уровней радиоактивного и химического (высокое содержание нитрат-ионов) загрязнения, возможно существование редуцированного зоопланктонного сообщества в предельном случае в виде монокультуры одного вида коловраток.

**Апробация материалов работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на III Всероссийской научно-практической конференции «Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования» (Нижний Тагил, 2010); V Международной научно-практической конференции «Медицинские и экологические эффекты ионизирующего излучения» (Северск-Томск, 2010); Международной конференции EPRBioDose 2010 (Неаполь, 2010); VI Съезде по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность) (Москва, 2010); IV Международной конференции «Хроническое радиационное воздействие: эффекты малых доз» (Челябинск, 2010); III Международной научно-практической конференции «Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды» (Челябинск, 2010).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 2 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, списка литературы, содержащего 147 источников. Диссертация изложена на 139 страницах машинописного текста и включает 33 рисунка и 35 таблиц.

### **Материалы и методы**

Были изучены 5 водоёмов-хранилищ низко- и среднеактивных жидких радиоактивных отходов и 1 водоём сравнения. Отбор проб зоопланктона для количественного анализа производили методом средневзвешенных проб автоматическим батометром Паталаса (Абакумов, 1992). Для качественного анализа видового состава зоопланктон отлавливали планктонной сетью Апштейна из поверхностного горизонта.

Разбор проб зоопланктона осуществлялся в лаборатории в соответствии с руководством (Абакумов, 1992). Определение таксономической принадлежности организмов проводили с помощью определителей (Боруцкий и др., 1991; Кутикова, 1970; Определитель..., 1977; Определитель...Т.1. Низшие беспозвоночные, 1994; Определитель...Т.2. Ракообразные, 1994; Рогозин, 1995; Смирнов, 1971). Определение биомассы зоопланктонных организмов проводили косвенным путем вычисления индивидуальных масс особей каждого вида на основе степенных уравнений зависимости массы от линейных размеров для изометрического и аллометрического типов роста беспозвоночных согласно методическому руководству (Методические рекомендации..., 1982).

Для обобщенного учета численности и биомассы использовали индекс плотности населения ИПН, для вычисления разнообразия сообщества определяли величину индекса Шеннона (1963), для определения видового богатства водоёма использовали индекс Маргалёфа (Margalef, 1958)  $d$ , для характеристики эквитабельности использовали индекс выравнивания Пиелу  $e$  (Pielou, 1975; 1966), для оценки роли каждого вида в структуре биоценозов был рассчитан индекс доминантности ( $D$ ), в котором учитывалось обилие видов по численности или биомассе (Абакумов, 1992).

Параллельно с отбором проб зоопланктона были отобраны пробы воды для гидрохимического анализа. Количественный гидрохимический анализ проводился по 41-му показателю: рН, электропроводность, щелочность, общая жесткость,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , кремнекислота общая, кремнекислота минеральная, азот нитратный,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Ca, Mg, Na, K, железо общее, железо растворенное, Mn, B, Co, Ba, Ni, Cd, Pb, Zn, Mo, Cu, Al, Sr, Cr (VI),  $\text{O}_2$ , БПК<sub>5</sub>, окисляемость перманганатная, окисляемость бихроматная, сухой остаток, минеральный остаток, потери при прокаливании.

Для определения содержания радионуклидов в различных компонентах экосистем водоёмов были отобраны пробы воды, донных отложений и планктона. Пробоподготовку проводили согласно методическим рекомендациям по санитарному

контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды (Методические рекомендации..., 1980). Удельную активность радионуклидов в воде и донных отложения определяли для каждой станции отбора проб, затем рассчитывали среднее значение для акватории водоёма.

Для расчета мощностей поглощённой дозы использовался программный комплекс ERICA Assessment Tool 1.0 May 2009 (ERICA, 2006). Параметры зоопланктонных организмов соответствовали стандартным данным библиотеки ERICA. В расчетах использовались фактические уровни загрязнения воды и донных отложений радионуклидами. В случае отсутствия экспериментальных данных о радиоактивном загрязнении зоопланктона использовались данные о коэффициентах накопления радионуклидов из библиотеки ERICA.

Для всех определённых параметров определяли среднее значение в водоёме за месяц и ошибку среднего. Для определения достоверности различий средних значений показателей зоопланктона в разных водоёмах использовались непараметрические критерии Колмогорова-Смирнова и Вилкоксона-Манна-Уитни. Для выявления связей показателей зоопланктонных сообществ исследуемых водоёмов проводился корреляционный анализ по Спирмену (Гланц, 1998). Во всех случаях нулевую гипотезу отклоняли при  $p \leq 0,05$ . Определение вида зависимости параметров зоопланктонного сообщества от радиационного и химического фактора проводили с помощью одно- и многофакторного регрессионного анализа. Для аппроксимации зависимости применялись линейная и нелинейная модели. В качестве функции потерь во всех случаях использовали сумму квадратов отклонений. Коэффициенты нелинейной модели подбирали методом Левенберга-Маркара (Marquardt, 1963; More, 1977). Для определения статистической значимости моделей проводили дисперсионный анализ результатов регрессионного анализа. Кластерный анализ проводили методом k-средних с предварительной редукцией переменных с помощью факторного анализа методом главных компонент. Число факторов определяли с помощью критерия каменистой осыпи Кэттеля (Cattell, 1966). Для получения матрицы нагрузок использовали вращение по методу варимакс (Bartholomew, 1984).

## **Результаты исследования и их обсуждение**

### **Характеристика техногенного загрязнения исследуемых водоёмов**

**Химический состав воды исследуемых водоёмов.** По гидрохимическим показателям следует отметить высокое содержание фосфатов в воде водоёма В-4, в котором также регистрируются очень высокие значения перманганатной окисляемости и биохимического потребления кислорода, что характерно для водоёмов с органическим загрязнением. Для водоёма В-10 отмечено высокое содержание сульфатов и повышенный уровень содержания фосфатов, что характерно для эвтрофных водоёмов.

Высокое содержание сульфатов характерно в еще большей степени для водоёма В-11. По показателям химического состава воды водоёмов В-9 и В-17 следует отметить крайне высокое содержание нитратов. В водоёме В-17 наблюдается также высокое содержание нитритов и значительное - сульфат-ионов.

**Содержание радионуклидов в воде, донных отложениях и зоопланктоне исследуемых водоёмов.** Радиоактивное загрязнение водоёмов определяется преимущественно  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Значения мощности поглощенной дозы на зоопланктон приведены в таблице 1. Основная часть дозовой нагрузки обусловлена внутренним облучением, что характерно для отдалённого периода после поступления радиоактивных веществ в водную экосистему, либо для условий долгого пребывания гидробионтов в воде, содержащей радионуклиды (Крышев, 1990; Крышев, Сазыкина, 1986; Печкуренок, 1991; Effects of ionizing radiation..., 1976; Methodology for assessing..., 1976. Для зоопланктона основными дозообразующими радионуклидами в водоёмах В-10 и В-11 является  $^{90}\text{Sr}$ , в водоёме В-4 –  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , в водоёме В-17 -  $^{241}\text{Am}$ , в водоёме В-9 -  $^{137}\text{Cs}$ . Согласно проведенным расчетам существенный вклад в формирование дозы для зоопланктона вносят альфа-излучающие радионуклиды ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ), доля которых составляет от 13 % и 18% в водоёмах В-11 и В-10 соответственно до 67 % в водоёме В-17.

Таблица 1 - Расчетные значения мощности поглощенной дозы для зоопланктона исследуемых водоёмов и водоёмов сравнения, мкГр/ч

Водоём	Внешнее облучение	Внутреннее облучение	Суммарная мощность дозы
В-11	$7,2 \times 10^{-1}$	$2,6 \times 10^1$	$2,7 \times 10^1$
В-10	$1,7 \times 10^0$	$6,6 \times 10^1$	$6,8 \times 10^1$
В-4	$3,7 \times 10^1$	$1,5 \times 10^2$	$1,9 \times 10^2$
В-17	$4,7 \times 10^2$	$1,2 \times 10^3$	$1,7 \times 10^3$
В-9	$1,2 \times 10^5$	$4,0 \times 10^4$	$1,6 \times 10^5$
ШВ	$1,6 \times 10^{-5}$	$7,7 \times 10^{-2}$	$7,7 \times 10^{-2}$
Примечание: «-» - нет данных; ШВ – Шершнёвское водохранилище			

### Характеристика зоопланктонных сообществ исследуемых водоёмов

#### Видовое разнообразие зоопланктона водоёмов В-10 и В-11

Анализ проб из исследуемых водоёмов показал, что в состав зоопланктона входят представители трёх основных групп: коловраток (Rotifera), ветвистоусых (Cladocera, Crustacea) и веслоногих (Copepoda, Crustacea) ракообразных.

В водоёме В-10 коловраток было обнаружено 14 видов, кладоцер и копепод - по 11 видов. Также в пробах были отмечены представители насекомых (Insecta) - 3 вида.

Наибольший процент встречаемости имели виды *Keratella cochlearis cochlearis* (Gosse), *Keratella quadrata quadrata* (Muller), *Ch. sphaericus* и *D. cucullata*. На одну пробу приходилось от  $7,8 \pm 1,0$  вида в июне до  $9,8 \pm 0,5$  вида в августе.

Зоопланктон водоёма В-11 характеризовался относительно небольшим видовым разнообразием. Всего было отмечено 7 видов клadoцер, 4 видов копепод, 6 форм коловраток и 3 вида других групп (*Chironomidae* - 1 вид и *Oligochaeta* - 2 вида). На всех станциях были отмечены коловратки *K. c. cochlearis*, *K. q. quadrata*, ветвистоусые *Ch. sphaericus* и *Limnospira frontosa* Sars, а также науплии *Copepoda*. В среднем в одной пробе обнаруживалось  $9,2 \pm 0,5$  вида.

Зоопланктон Шершневого водохранилища, водоёма сравнения, характеризовался наибольшим видовым разнообразием. Всего было отмечено 14 видов клadoцер, 6 видов копепод, 29 видов коловраток и 4 вида других групп (по одному виду *Oligochaeta*, *Aranei*, *Ostracoda* и *Insecta*). Наибольший процент встречаемости в контрольном водоёме имели виды *K. c. cochlearis* и *K. q. quadrata*. Среднее количество видов, обнаруживаемых в одной пробе, изменялось от  $8,3 \pm 1,8$  в июне до  $19,8 \pm 1,7$  в августе. Малое количество идентифицированных видов в водоёме В-11 объясняется меньшим количеством отобранных проб (пробы отбирались один раз за сезон).

Значимые различия в количестве видов в одной пробе отмечены лишь в августе 2009 г., когда значение этого показателя в контрольном водоёме оказалось вдвое выше, чем в водоёме В-10. Отмечается некоторое уменьшение видового разнообразия водоёмов В-10 и В-11 по сравнению с Шершневым водохранилищем в первую очередь из-за сокращения числа видов коловраток. Водоём В-11 по видовому разнообразию, вероятно, близок к водоёму В-10: в конце июля в В-10 был найден 31 вид на 10 станциях, из них на пяти основных обнаружено 23 вида, что близко к числу видов, идентифицированных из проб водоёма В-11.

Во всех водоёмах наибольший процент встречаемости имели коловратки *K. c. cochlearis* и *K. q. quadrata*. В пробах из промышленных водоёмов также часто попадался рачок *Ch. sphaericus*.

#### **Видовое разнообразие зоопланктона водоёма В-4**

В 2009 г. в водоёме В-4 найдено 5 видов коловраток, и по одному виду клadoцер и копепод. Во всех пробах отмечены *F. longiseta*, *K. cochlearis*, *P. remata*, *T. pusilla* и неполовозрелые циклопиды. На обеих станциях отмечено по 6 видов зоопланктонных организмов. В 2010 г. в водоёме В-4 коловраток было обнаружено 10 видов, клadoцер – 4 вида, копепод – 3 вида. Также в пробах были отмечены представители ракушковых раков (*Ostracoda*, *Crustacea*). Наибольший процент встречаемости имели *B. angularis angularis*, *Br. diversicornis diversicornis* (Daday), *Filinia longiseta longiseta* (Ehrenberg) и *K. cochlearis cochlearis* (Gosse); эти виды присутствовали в пробах со всех станций. На одну пробу в среднем приходилось  $10,8 \pm 1,9$  видов.

### **Видовое разнообразие зоопланктона водоёмов В-17 и В-9**

В пробах зоопланктона из водоёма В-17, отобранных в 2009 г. найдено 8 видов коловраток, 3 вида ветвистоусых, 2 вида копепод и 7 видов, принадлежащих другим группам, причем Cladocera и Copepoda отмечались лишь однажды, на станции В17/1 в начале июля. Наибольший процент встречаемости в водоёме В-17 в 2009 г. отмечен для *B. calyciflorus amphiceros* и *Hexarthra fennica* (Levander). Число видов на пробу изменялось от  $3,0 \pm 0,6$  в июле до  $6,7 \pm 2,2$  в июне. В 2010 г. здесь было отмечено всего 5 видов коловраток, ветвистоусых и веслоногих ракообразных найдено не было. Наибольшая встречаемость была характерна для *B. calyciflorus amphiceros*. В одной пробе найдено 4 вида.

В водоёме В-9 отмечено экстремально низкое видовое разнообразие. Всего в пробах зоопланктона было найдено 3 вида коловраток. В 2009 г. это были *Brachionus calyciflorus* Ehrenberg и *Hexarthra fennica* (Levander), в 2010 г. - *Hexarthra fennica* (Levander) и *Keratella quadrata quadrata* (Muller). На обеих станциях в 2009 г. встречался *Brachionus calyciflorus* Ehrenberg, в 2010 г. - *Hexarthra fennica* (Levander). Среднее число видов в пробе в оба года составило  $1,5 \pm 0,5$ .

### **Количественное развитие зоопланктона водоёмов В-10 и В-11**

В целом, водоёмы представляются сопоставимыми по количественным показателям развития зоопланктона. Оба промышленных водоёма, несмотря на специфические радиационные и гидрохимические условия (высокое содержание сульфатов и хлоридов), не уступают по показателям количественного развития зоопланктона водоёму сравнения. Сходен был также состав доминантов и субдоминантов по численности и биомассе. Безусловным доминантом по численности была *K. c. cochlearis*, *K. q. quadrata* во всех водоёмах выступала в роли субдоминанта. По биомассе в водоёмах преобладали крупные кладоцеры из рода *Daphnia*, в Шершневском водохранилище и в водоёме В-11 был значителен вклад в биомассу факультативных хищников коловраток *Asplanchna priodonta*, отсутствовавших в водоёме В-10.

Статистически значимые отличия от водоёма сравнения отмечены лишь для доли коловраток и ветвистоусых ракообразных в численности и биомассе в водоёме В-10 в июне и для доли копепод в биомассе в августе.

Распределение зоопланктонных организмов по акватории водоёмов было различным. В июне наибольшие значения численности и биомассы в водоёме В-10 отмечены в верховье и вблизи плотины П-10. В Шершневском водохранилище в этот период наибольшие значения численности и биомассы отмечались на приплотинном участке. В середине лета распределение численности зоопланктонных организмов по акватории совпадало с распределением биомассы в обоих промышленных водоёмах. В водоёме В-10 отмечено повышение этих показателей по направлению от плотины П-4 к

плотине П-10. В водоёме В-11 на срединном участке численность и биомасса были минимальными; наибольшие значения были характерны для обоих приплотинных участков. В Шершнёвском водохранилище в середине лета отмечен пик численности и биомассы на срединном участке. В августе в водоёме В-10 наблюдалось постепенное снижение численности по направлению от верховья к плотине П-10; биомасса изменялась незначительно. В водоёме сравнения в августе отмечено нарастание численности зоопланктона от верховья к плотине и минимальные значения биомассы на срединном участке. В целом, распределение зоопланктонных организмов по акватории водоёма сравнения и, в меньшей степени, водоёма В-10 было характерно для водохранилища, верховьем которого является река (Дзюбан, 1959). Распределение зоопланктона в непроточном водоёме В-11 носило иной характер, максимальные значения численности и биомассы отмечены вблизи обеих плотин.

Сезонный ход изменений средних по акватории количественных показателей в Шершневском водохранилище и в водоёме В-10 также имел свои особенности. В водоёме В-10 происходило постепенное нарастание численности и снижение биомассы в течение лета. Подобные изменения объясняются постепенным увеличением в водоёме В-10 доли коловраток в общей численности и уменьшением доли крупных ветвистоусых-фильтраторов, что характерно для водоёмов при протекании процессов эвтрофирования (Андроникова, 1996). В Шершневском водохранилище также происходило нарастание численности в течение лета, но отмечался пик биомассы в июле.

Таким образом, анализ количественных показателей развития зоопланктона не выявил значительных различий сообществ трех водоёмов. Отмечены определённые различия в пространственной и сезонной динамике количественных показателей развития зоопланктона водоёмов.

#### **Количественное развитие зоопланктона водоёма В-4**

В 2009 г. средняя численность зоопланктона в водоёме В-4 составила  $230 \pm 140$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. Наименьшая численность отмечена на литоральной станции В4/2 (менее 100 тыс. экз./м<sup>3</sup>), наибольшая – на приплотинной станции В4/3 (370 тыс. экз./м<sup>3</sup>). Отмечалось преобладание по численности коловраток, более выраженное на станции В4/2, где они составляли более 96 % всех зоопланктёров. На станции В4/3 доля веслоногих ракообразных составляла около 35 %. Вклад ветвистоусых ракообразных в численность был незначителен. В июле 2009 г. доминантом по численности в водоёме В-4 были коловратки *Filinia longiseta* (Ehrenberg). Субдоминантом на литоральной станции В4/2 были коловратки *Keratella cochlearis* (Gosse), на станции В4/3 – науплии копепод. Биомасса зоопланктона в водоёме В-4 в этот период составила в среднем  $0,21 \pm 0,18$  г/м<sup>3</sup>. Наименьшей биомассой зоопланктон характеризовался на правобережной станции В4/2: 0,03 г/м<sup>3</sup>. Наибольшая биомасса отмечалась на

приплотинной станции В4/3: 0,4 г/м<sup>3</sup>. На литоральной станции В4/2 преобладали ветвистоусые ракообразные *Bosmina longirostris* (Muller), обеспечивавшие около 50 % биомассы; субдоминантом здесь были коловратки *Filinia longiseta* (Ehrenberg). На приплотинной станции В4/3 ветвистоусые отмечены не были, коловратки и веслоногие ракообразные вносили приблизительно равный вклад в биомассу. Здесь доминировали коловратки *Brachionus diversicornis* (Daday) и неполовозрелые стадии копепод, субдоминантами являлись коловратки *Trichocerca pusilla* (Lauterborn) и *Filinia longiseta* (Ehrenberg).

Численность зоопланктона в водоёме В-4 в 2010 г. изменялась в широких пределах и составила в среднем по акватории 2900±800 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Наименьшая численность организмов зоопланктона наблюдалась на литоральной станции В4/2: около 1200 тыс. экз./м<sup>3</sup>, наиболее многочисленны зоопланктонные организмы были в приплотинной части водоёма (точка В4/3): более 4700 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Участок акватории в заливе на севере водоёма (станция В4/4) также характеризуется высокой численностью зоопланктонных организмов. На всех станциях отмечалось преобладание по численности коловраток, наиболее выраженное на станции В4/3 вблизи плотины П-4. На этой же станции ветвистоусые вносили наибольший по акватории вклад в численность зоопланктона. Наибольшая доля веслоногих ракообразных отмечена на левобережной станции В4/4. Наибольшей численности в июле 2010 г. достигали *F. l. longiseta* и *Br. d. diversicornis*, несколько меньшей – *Br. a. angularis*, *Br. c. calyciflorus* и науплии копепод. На наиболее глубоком участке водоёма (станция В4/5) безусловным доминантом являлась коловратка *F. l. longiseta*, на ее долю приходилось 63 % численности зоопланктона. На станции В4/5 значительной численности достигали также *Br. d. diversicornis* и науплиусы копепод. На станции В4/2 у южного берега *F. l. longiseta* являлась кодоминантом вместе с *Br. d. diversicornis*; субдоминантом здесь была еще одна коловратка рода *Brachionus* – *Br. c. calyciflorus*. На приплотинном участке (станция В4/3) и на станции В4/4 у северного берега, в заливе, *F. l. longiseta* и *Br. d. diversicornis* играли роли доминантов и субдоминантов, обеспечивая более 60 % суммарной численности зоопланктона.

Биомасса зоопланктона в водоёме В-4, как и численность, претерпевала значительные изменения, составив в среднем 3,8±1,2 г/м<sup>3</sup>. Наименьшей биомассой зоопланктон характеризовался на правобережной станции В4/2: 1,4 г/м<sup>3</sup>. Наибольшая биомасса отмечалась в заливе у северного берега (В4/4): 6,3 г/м<sup>3</sup>. На различных участках акватории отмечалось преобладание в биомассе зоопланктона коловраток (станция В4/2 у правого берега, приплотинная станция В4/3) и копепод (станция В4/4 в заливе у северного берега и станция В4/5 на самом глубоком участке). Кладоцеры наибольший вклад в биомассу вносили в приплотинной части водоёма (станция В4/3), здесь на их долю приходилось 24 %. На наиболее глубоководной станции В4/5 ветвистоусые

отмечены не были. На прибрежных станциях В4/2 и В4/4 и на приплотинной станции В4/3 доминантом по биомассе являлись *Br. d. diversicornis*, в роли субдоминанта на станции В4/2 выступали *Br. c. calyciflorus*, на станции В4/3 – ветвистоусый рачок *L. frontosa*. На глубоководной станции В4/5 доминантом был веслоногий рачок *E. graciloides*, субдоминантами по биомассе были *Br. d. diversicornis* и *F. l. longiseta*.

### **Количественное развитие зоопланктона водоёмов В-17 и В-9**

В состав зоопланктона водоема В-17 входили только коловратки, ротиферный характер носил и зоопланктон водоема В-9.

В водоёме В-17 в 2009 г. численность зоопланктонных организмов в среднем за период наблюдений составила  $1270 \pm 590$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. Минимальная численность зоопланктона отмечалась в июле на всех станциях, максимальная - в июне. Особенно значительные колебания численности в течение лета наблюдались на станции В17/3. В водоёме В-17 *Brachionus calyciflorus amphiceros* являлся безусловным доминантом лишь в начале июля, когда на его долю приходилось в среднем 84 % численности зоопланктона. В течение лета его численность постепенно снижалась: в конце июля она составляла около 50 % от общей, а в начале сентября – менее 8 %. Вместе с тем постепенно увеличивалась численность *H. fennica* и *Polyarthra dolichoptera dolichoptera* и в августе на долю этих коловраток приходилось в сумме почти 90%.

Колебания биомассы в водоёме В-17 были довольно значительными, при этом среднее значение составило  $1,32 \pm 0,58$  г/м<sup>3</sup>. Минимальные ее значения отмечены в июле, максимальные - в июне на станции В17/3 и в августе на станции В17/4 (рисунок 25). Для водоёма В-17 характерны высокие показатели биомассы довольно крупных *B. calyciflorus amphiceros*; даже при снижении доли в численности в течение лета они продолжали вносить существенный вклад в биомассу. Еще одна крупная коловратка, *Asplanchna brightwellii* Gosse, определяла биомассу зоопланктона в августе. В целом по биомассе по водоёму отмечалось абсолютное преобладание Rotatoria. Лишь на станции В17/1 в начале июля около 10 % биомассы обеспечивали ветвистоусые *Daphnia cucullata* Sars.

Виды, достигающие значительного развития в водоёме В-17, относятся к эвригалинным либо галофильным (Кутикова, 1970; Пидгайко, 1984), что объясняется высоким содержанием солей в воде. Также данные организмы обладают высокой устойчивостью к действию различных токсикантов и повышенному содержанию биогенов и часто обнаруживаются в искусственных водоёмах в черте города, в удобряемых прудах, в прудах-отстойниках и в естественных эвтрофных и гипертрофных водоёмах (Мухортова, 2008; Рогозин, 2006; Сеницкий и др., 2002; Marce et al., 2005). Здесь наблюдается относительно развитое сообщество планктонных организмов, в котором присутствуют как мирные фильтраторы (*Brachionus*, *Hexarthra*, *Polyarthra*), так и факультативные хищники (*A. brightwellii*).

Значения показателей количественного развития зоопланктона в водоёме В-17 в июне 2010 г. значимо не отличаются от показателей 2009 г. Доминантом по численности являлись коловратки *Brachionus calyciflorus* Ehrenberg, на долю которых приходилось около 80 %. Вместе с *Asplanchna brightwellii* Gosse они обеспечивали и практически всю биомассу (51 % - аспланхна и 46 % - брахионус). Планктонных ракообразных в пробах 2010 г. не обнаружено.

В августе 2009 г. численность зоопланктона в водоёме В-9 составила  $12,8 \pm 2,3$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса -  $0,0115 \pm 0,0020$  г/м<sup>3</sup>. Распределение зоопланктона по станциям отбора проб было достаточно равномерным. Зоопланктон водоёма В-9 в 2009 г. представлял собой монокультуру коловраток *Brachionus calyciflorus* Ehrenberg, ещё одна коловратка *Hexarthra fennica* была представлена единственной особью.

В августе 2010 г. численность зоопланктона в водоёме В-9 была выше, чем в предыдущем году и составила  $68 \pm 12$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. Биомасса при этом осталась приблизительно на прежнем уровне –  $0,019 \pm 0,003$  г/м<sup>3</sup>. Причиной этого является смена доминанты зоопланктонного сообщества: зоопланктон так же представлял собой ротиферную монокультуру, но абсолютным доминантом являлись коловратки более мелкого вида - *Hexarthra fennica*. В пробах был найден единственный экземпляр *Keratella quadrata*.

Подавляющее развитие одного единственного вида на фоне незначительного количества еще нескольких видов, отмеченное в водоёмах В-17 и В-9 характерно для крайне неблагоприятных местообитаний (Fleeger et al., 2003). В таких условиях нарушаются биоценотические связи из-за выпадения отдельных видов и ослабления конкуренции. Численность одного высокотолерантного вида, к которым можно отнести многих брахионид, широко распространённых в водоёмах с различными условиями (Рогозин, 2006; 2008), может резко возрасти, в то время как более чувствительные виды исчезают из-за неблагоприятных гидрохимических условий или из-за неспособности конкурировать с доминирующим видом.

#### **Характеристика зоопланктона исследуемых водоемов по биотическим индексам**

Отмечено значимое снижение индекса видового богатства Маргалёфа в водоёме В-10 по сравнению с контролем в августе. По остальным индексам исследуемые водоёмы не имеют значимых различий. В водоёме В-10 и Шершнёвском водохранилище отмечено значительное изменение в течение сезона отношение численности кладоцер к численности копепод ( $N_{\text{Clad}}/N_{\text{Cop}}$ ). В целом, кладоцеры в водоёмах Теченского каскада были более многочисленны. Столь же значительно изменялось и отношение биомасс ракообразных и коловраток.

В водоёме В-4 отмечается значительная роль коловраток в образовании биомассы, и относительно небольшая средняя масса особи, что может рассматриваться как

проявление ответной реакции зоопланктонного сообщества на техногенное загрязнение. Низкие значения индекса выравненности экологических сообществ Пиелу говорят об относительном упрощении структуры сообщества и ослаблении связей между его отдельными компонентами. Вместе с тем, отмечаются довольно высокие значения индекса видового богатства Маргалефа в промышленном водоёме, что обычно расценивается как признак благополучия сообщества.

В промышленных водоёмах В-17 и В-9 отмечаются низкие значения средней массы особей. Для водоёма В-9 и водоёма В-17 в июне 2009 г характерны крайне низкие значения индекса Шеннона, что говорит об упрощении связей в сообществе.

### **Анализ зависимости показателей зоопланктонного сообщества от уровня радиационного воздействия**

Проведённый на начальном этапе корреляционный анализ позволил выявить связи показателей зоопланктонных сообществ исследуемых водоёмов с различными факторами среды, установить их направленность и силу. В качестве исходных использовали данные по морфометрии исследуемых водоёмов, химическому составу воды, мощности поглощённой дозы для организмов зоопланктона, показатели развития фитопланктона и зоопланктона. С увеличением мощности поглощённой дозы и минерализации наблюдается снижение видового разнообразия, биомассы и ИПН зоопланктона, увеличивается доля коловраток в числе видов, численности и биомассе. Одновременно снижаются индексы Маргалефа, Шеннона и Пиелу, что говорит об упрощении связей в планктонном сообществе.

В результате проведенного однофакторного регрессионного анализа были получены параметры уравнений прямых, описывающих зависимости показателей зоопланктонного сообщества от натурального логарифма мощности поглощённой дозы (таблица 2). Наиболее полно с помощью линейной функции описывается зависимость индекса видового богатства Маргалефа, индекса Шеннона и логарифма средней массы особи от логарифма мощности поглощённой дозы.

Линейная модель хорошо описывает зависимость большинства параметров, характеризующих зоопланктонное сообщество, от радиационного фактора лишь на определенном промежутке доз, неодинаковом для разных параметров, что позволяет предположить нелинейный характер зависимости «доза-эффект».

Для описания зависимости показателей развития зоопланктонного сообщества от мощности поглощённой дозы более подходящей представляется следующая модель:

$$y = a - (a - b) / (1 + (x/c)^d) \quad (6)$$

где  $y$  – значение показателя,  $x = \ln(P + 1)$ ,  $P$  – мощность поглощённой дозы, мкГр/час,  $a$  – максимальное значение показателя,  $b$  – минимальное значение показателя,  $c$  – логарифм

мощности поглощённой дозы, вызывающей полумаксимальный отклик,  $d$  – коэффициент, определяющий наклон графика функции.

Таблица 2 - Параметры уравнений зависимости показателей развития зоопланктона от натурального логарифма мощности дозы ( $y=a+bx$ )

Показатель развития зоопланктона (y)	a	b	R <sup>2</sup>	F	p
Число видов в пробе	11,6	-0,821	0,58	57,20	<0,01
Биомасса зоопланктона, г/м <sup>3</sup>	9,5	-1,033	0,20	12,14	<0,01
Индекс плотности населения	71	-5,61	0,12	6,59	0,01
Доля Rotifera в числе видов	0,39	0,0516	0,38	28,03	<0,01
Доля Соперода в числе видов	0,249	-0,0215	0,47	41,34	<0,01
Доля Rotifera в численности	0,63	0,0299	0,19	10,69	<0,01
Доля Соперода в численности	0,243	-0,0226	0,31	20,64	<0,01
Доля Rotifera в биомассе	-0,05	0,0951	0,53	53,61	<0,01
Доля Cladocera в биомассе	0,71	-0,0673	0,37	26,18	<0,01
Доля Соперода в биомассе	0,18	-0,0119	0,08	4,22	0,05
Индекс видового богатства Маргалефа d	1,95	-0,1710	0,68	94,19	<0,01
Индекс Шеннона	2,75	-0,1954	0,61	66,71	<0,01
Индекс выравненности экологических сообществ Пиелу	0,75	-0,0257	0,17	7,50	0,01
$\ln(B_{Cr}/B_{Rot})$	2,4	-0,202	0,23	13,79	<0,01
Натуральный логарифм средней массы особи	3,11	-0,271	0,64	79,71	<0,01
$\ln(B_z/B_{ph})$	0,59	-0,0641	0,28	19,72	<0,01
$\ln(B_z/(B_{ph}+B_b))$	0,45	-0,0505	0,23	14,34	<0,01
Примечание: приведены средние значения и стандартные ошибки; $B_{Cr}/B_{Rot}$ – отношение биомассы Crustacea к биомассе Rotifera; $B_z/B_{ph}$ – отношение биомассы зоопланктона к биомассе фитопланктона; $B_z/(B_{ph}+B_b)$ – отношение биомассы зоопланктона к суммарной биомассе фито- и бактериопланктона.					

Функция  $y=a-a/(1+(x/c)^d)$ , позволяет лучше описать зависимость показателей от мощности поглощённой дозы, по сравнению с линейной. Наиболее полно и достоверно с помощью используемой функции описываются зависимости числа видов зоопланктонных организмов, доли Соперода в числе видов, индекса Шеннона и индекса видового богатства Маргалефа от логарифма мощности поглощённой дозы. Графики и уравнения этих функций приведены на рисунках 1-4.

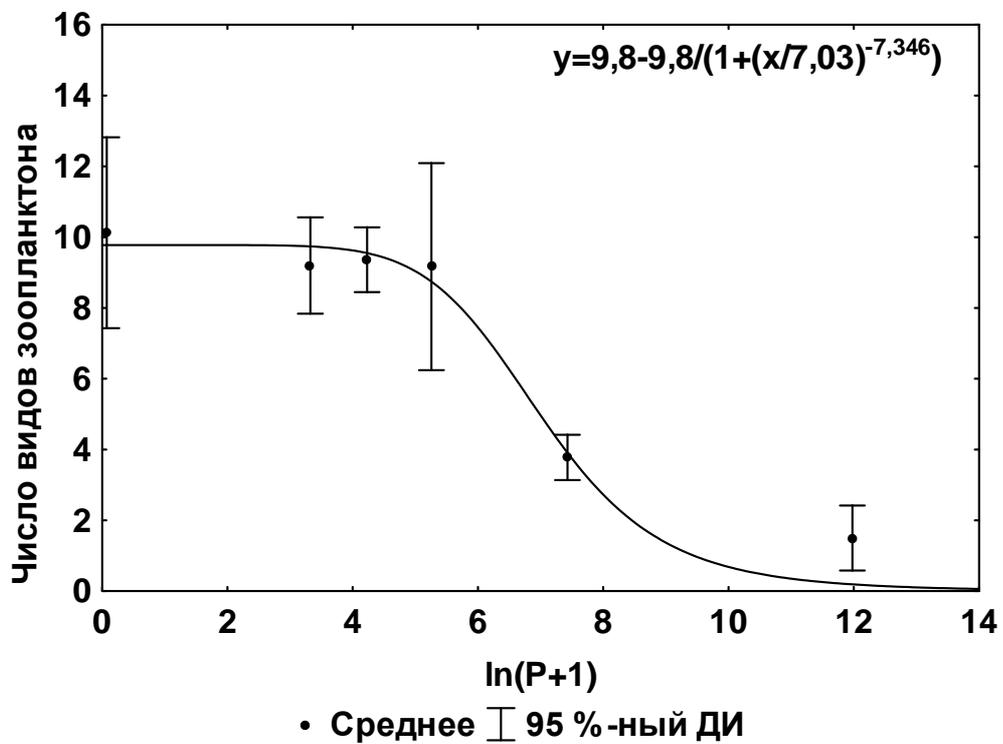


Рисунок 1 – График зависимости числа видов зоопланктона в пробе от натурального логарифма мощности поглощенной дозы

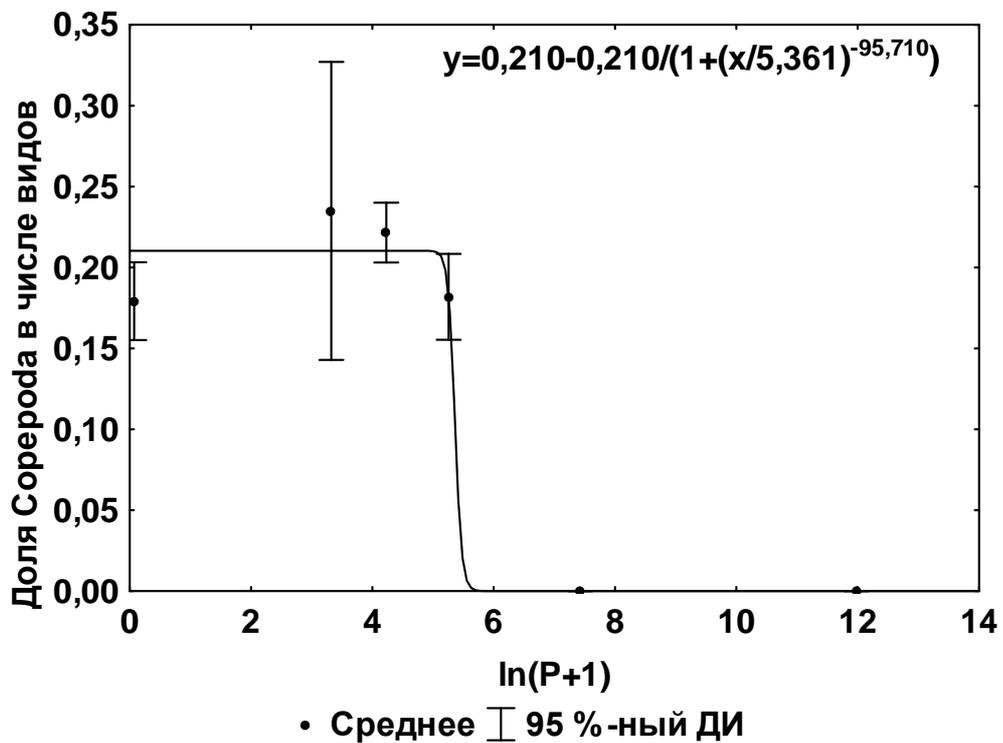


Рисунок 2 – График зависимости доли Сорерода в числе видов зоопланктона от натурального логарифма мощности поглощенной дозы

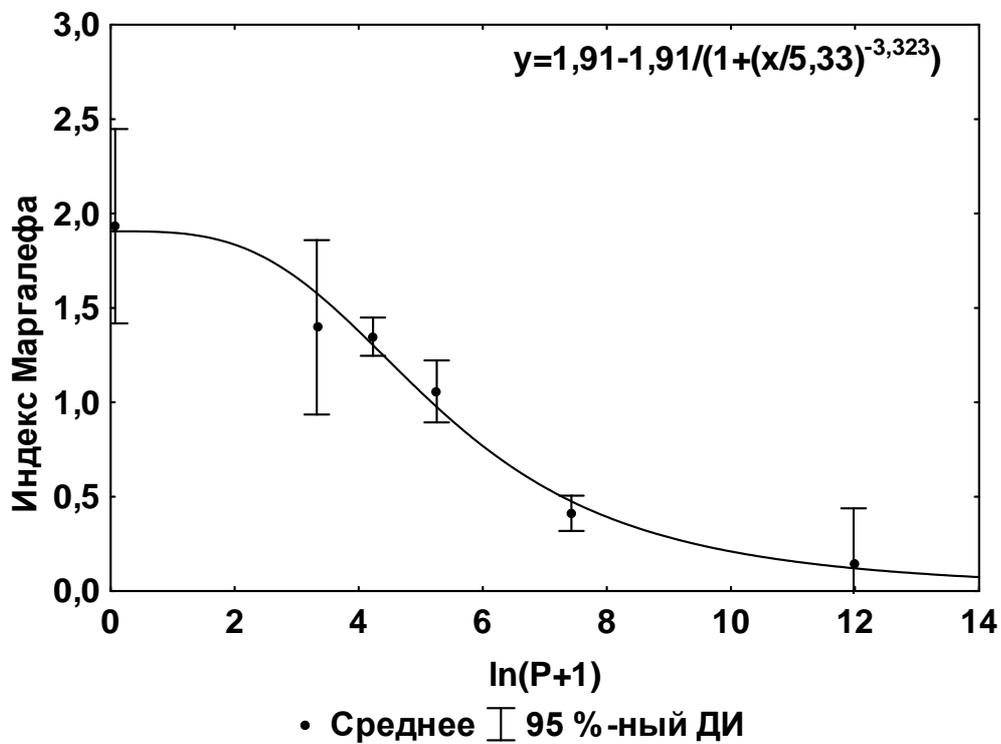


Рисунок 3 – График зависимости индекса Маргалефа от натурального логарифма мощности поглощенной дозы

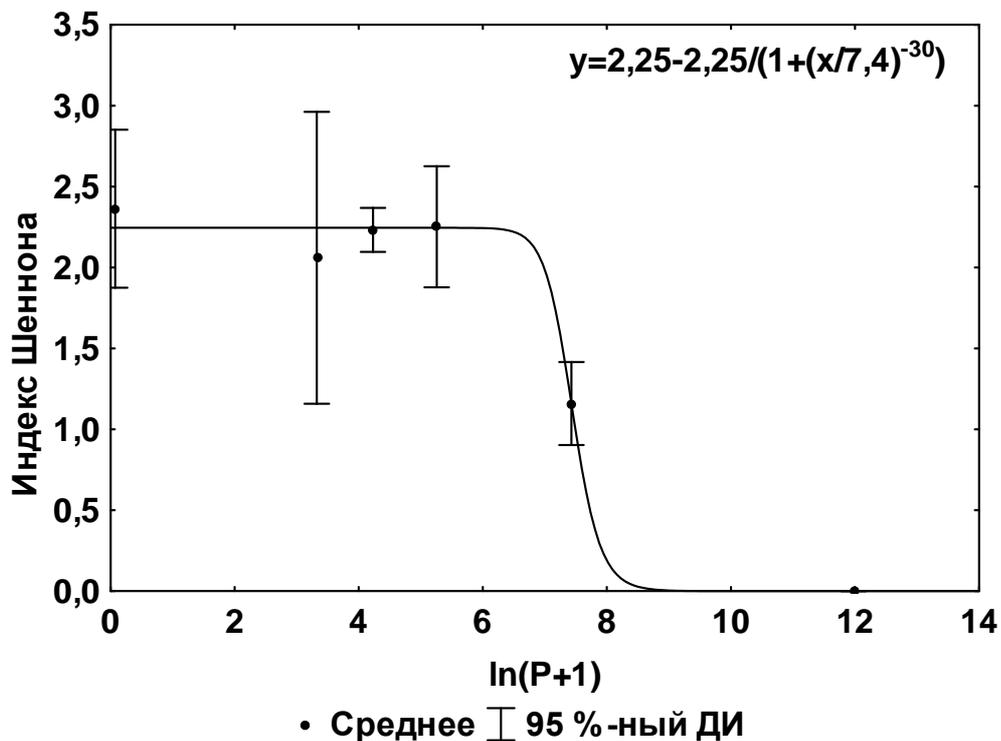


Рисунок 4 – График зависимости индекса Шеннона от натурального логарифма мощности поглощенной дозы

Из уравнения  $y = a \cdot (1 - 1 / (1 + (x/b)^c))$  следует, что  $1 / (1 + (x/b)^c)$  – отношение отклика при данной мощности поглощённой дозы к максимальному. Отсюда можно получить значения мощности дозы, при которых наблюдаются определённые изменения в сообществе. Следует отметить, что мощности поглощённой дозы, приводящие к 5 %-

ному изменению показателей - максимальные приемлемые уровни воздействия (Куценко, 2004; European Commission..., 2003; SCOPE 53..., 1995), находятся в пределах  $5,8 \cdot 10^{-1}$ - $6,5 \cdot 10^2$  мкГр/час. Такие значения мощностей доз характерны для водоёма В-4, для которого действительно не отмечено значительных изменений основных параметров, характеризующих зоопланктонное сообщество, что является дополнительным аргументом в пользу адекватности полученной модели.

Для оценки совместного действия радиационного и химического факторов, а также количества корма (суммарной биомассы фито- и бактериопланктона) на среднее число видов, биомассу зоопланктона, соотношение различных групп в числе видов, численности и биомассе, индексы Маргалефа и Шеннона и отношение биомасс зоо- и фитопланктона, был проведен многофакторный регрессионный анализ. Достоверные модели получены для зависимости числа видов, индексов Шеннона и Маргалефа от мощности поглощенной дозы и минерализации воды. Оба фактора оказывают сопоставимое влияние на число видов на станции; значения индексов Маргалефа и Шеннона сильнее зависят от мощности поглощенной дозы, чем от минерализации.

Необходимо учитывать, что в изученном ряду водоёмов мощность поглощённой дозы тесно коррелирует с уровнем минерализации (коэффициент ранговой корреляции Спирмена  $R=0,88$ ;  $p<0,01$ ; коэффициент корреляции Пирсона для логарифмов  $r=0,91$ ;  $p<0,01$ ). Таким образом, установление вклада химического и радиационного факторов в изменение показателей, характеризующих зоопланктонное сообщество, требует дальнейшего изучения.

Кластерный анализ проводился для решения задачи объединения водоёмов с разными уровнями радиоактивного загрязнения в группы, в пределах которых не регистрировалось бы существенных различий параметров, характеризующих структуру зоопланктонного сообщества.

Предварительно был проведён факторный анализ методом главных компонент для сведения всех показателей к небольшому числу факторов. В результате было выделено два фактора. В первый фактор были объединены число видов зоопланктона, доля коловраток в числе видов и биомассе, индекс Маргалефа, индекс Шеннона и средняя масса особи. Во второй фактор включены биомасса зоопланктона и отношение биомасс зоо- и фитопланктона. Таким образом, первый фактор объединил параметры, описывающие структуру сообщества, а второй – параметры количественного развития зоопланктона.

Далее был проведён кластерный анализ методом к-средних. В результате было выделено 3 кластера, достоверно различающихся по уровням значений факторов, полученных в ходе факторного анализа методом главных компонент (рисунок 5).

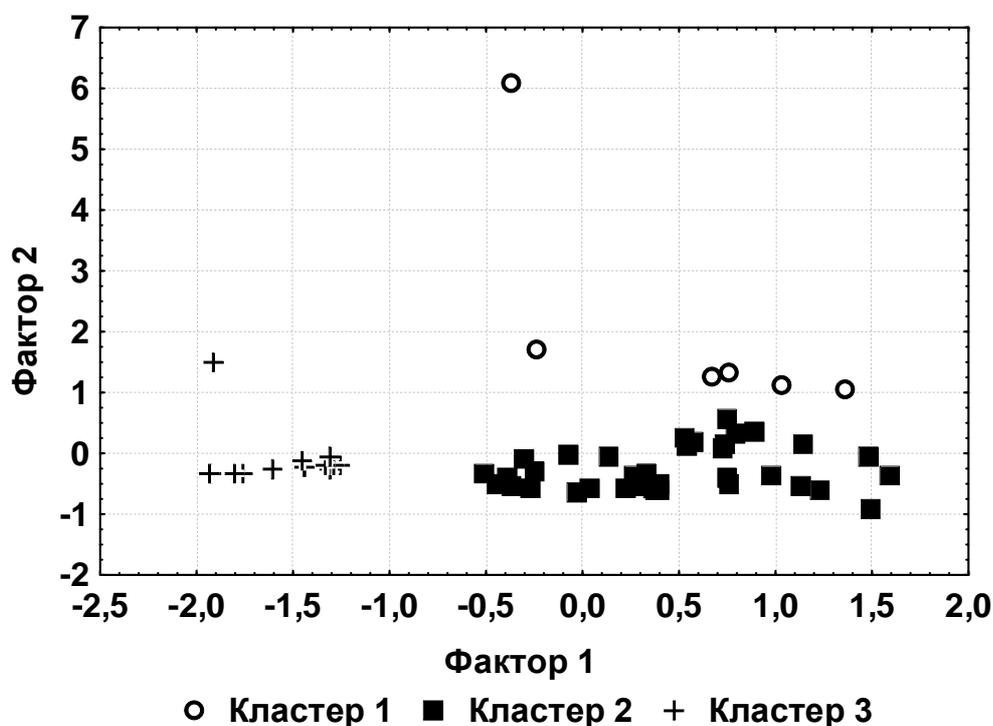


Рисунок 5 - Категоризованная диаграмма рассеяния для 3 кластеров

В первый и второй кластеры вошли станции Шершнёвского водохранилища и промышленных водоёмов В-11, В-10 и В-4. Эти станции характеризовались высокими значениями фактора 1, объединившего показатели структуры сообщества зоопланктонных организмов. Здесь наблюдалось значительное видовое разнообразие, высокие значения индексов Шеннона и Маргалефа, относительно небольшой вклад коловраток в число видов и биомассу зоопланктона. Два кластера различаются уровнем количественного развития зоопланктона: для станций первого кластера отмечены большая биомасса и более высокие значения отношения зоо- и фитопланктона. К этой группе отнесены некоторые пелагические станции крупных водоёмов (В-11, В-10 и Шершнёвского водохранилища), на которых в отдельные периоды значительного развития достигали крупные зоопланктёры, в первую очередь, кладоцеры и хищные коловратки. В третий кластер были объединены станции водоёмов В-17 и В-9, характеризовавшиеся небольшим видовым разнообразием, низкими значениями индексов Маргалефа и Шеннона, абсолютным доминированием коловраток в сообществе и низкими значениями средней массы особи. Показатели количественного развития зоопланктона в третьем кластере были сопоставимы с таковыми в кластере 2.

В отдельную группу можно выделить водоёмы В-17 и В-9, в которых из-за экстремальных значений мощности поглощённой дозы для зоопланктёров и, вероятно, высокой минерализации, обусловленной, в первую очередь, нитратами, развивается обедненное сообщество, состоящее только из коловраток и, в пределе, представляющее собой практически монокультуру. Водоём В-4, несмотря на значительные уровни

радиационного воздействия, не может быть отделён по показателям развития зоопланктона от более благополучных водоёмов.

### **Выводы**

1. Расчётная мощность поглощенной дозы на зоопланктон в специальных промышленных водоёмах В-11, В-10, В-4, В-17, В-9 в летний период 2009 – 2010 гг. составила  $2,7 \times 10^1$ ,  $6,8 \times 10^1$ ,  $1,9 \times 10^2$ ,  $1,7 \times 10^3$  и  $1,6 \times 10^5$  мкГр/ч соответственно. Отмечено преимущественно сульфатное загрязнение водоёмов В-11 (5 ПДК<sub>вр</sub>) и В-10 (3 ПДК<sub>вр</sub>), органическое загрязнение водоемов В-10 (БПК<sub>5</sub> - 1,4 ПДК<sub>вр</sub>; фосфаты - 3 ПДК<sub>вр</sub>) и В-4 (БПК<sub>5</sub> - 14 ПДК<sub>вр</sub>; фосфаты – 8 ПДК<sub>вр</sub>), загрязнение нитратами водоёмов В-17 (70 ПДК<sub>вр</sub>) и В-9 (110 ПДК<sub>вр</sub>).
2. Не выявлено статистически значимой зависимости численности зоопланктонных организмов от уровня радиационного воздействия, отмечена статистически значимая слабая зависимость биомассы зоопланктона от мощности поглощённой дозы.
3. Видовое разнообразие зоопланктона снижается с увеличением уровня радиационного воздействия нелинейно. 5% снижение видового разнообразия (максимальный приемлемый уровень) соответствует  $1,1 \times 10^2$  мкГр/час; 50% снижение –  $1,1 \times 10^3$  мкГр/час.
4. С усилением радиационного воздействия происходит упрощение структуры зоопланктоценоза, что выражается в снижении значений индекса Шеннона на 5% при  $9,1 \times 10^2$  мкГр/ч и на 50% при  $1,7 \times 10^3$  мкГр/час. Вклад химического и радиационного факторов в изменение индекса Шеннона является сопоставимым.
5. Показатели количественного развития зоопланктона являются менее чувствительными к изменению условий в водоёмах исследования, чем показатели, характеризующие видовое богатство и сложность связей в сообществе.
6. При крайне высоких уровнях радиоактивного (суммарная бета-активность воды  $2,3 \cdot 10^7$  Бк/дм<sup>3</sup>, суммарная альфа-активность  $3,1 \cdot 10^3$  Бк/дм<sup>3</sup>, что соответствует дозам для зоопланктона до  $1,6 \cdot 10^5$  мкГр/ч) и химического (содержание нитрат-ионов до 4,4 г/дм<sup>3</sup>) загрязнения, оказывающих сопоставимое по силе воздействие на гидробионтов, возможно существование зоопланктонных сообществ в виде монокультуры одного вида коловраток.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

#### Публикации в и зданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Пряхин Е.А., Тряпицына Г.А., Дерябина Л.В., Духовная Н.И., Осипов Д.И., Аклеев А.В., Стукалов П.М., Мокров Ю.Г. Сравнительный анализ биологических показателей экосистем водоема В-11, Шершневого водохранилища, Оз. Иртяш и оз. Кожаккуль // Вопросы радиационной безопасности.– 2010. №1. – С. 17-28.

2. **Осипов Д.И.**, Тряпицына Г.А., Стукалов П.М., Пряхин Е.А. Зоопланктон промышленного водоема В-11 ПО «Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. – 2011. - №1.
3. Пряхин Е.А., Духовная Н.И., Тряпицына Г.А., Дерябина Л.В., Гаврилова Е.В., Андреев С.С., **Осипов Д.И.**, Костюченко В.А., Стукалов П.М., Александрова О.Н., Аклеев А.В. Фитопланктон водоема В-11 Теченского каскада водоемов ПО «МАЯК» // Радиационная биология. Радиационная экология. – 2010. – Т. 50. – № 4. – С. 423-433.  
Публикации в других изданиях:
4. **Осипов Д.И.**, Дерябина Л.В., Тарасова С.П., Пряхин Е.А. Зоопланктон водоема В-10 Теченского каскада водоемов ПО «Маяк» // Медицинские и экологические эффекты ионизирующего излучения: материалы V международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию создания Северского биофизического научного центра ФМБА России, 13 – 14 апреля, 2010., Северск – Томск / Отв. Ред. Р.М. Тахауов. – Томск: ООО «Графика», 2010. - С. 137 – 138.
5. Тряпицына Г.А., Духовная Н.И., **Осипов Д.И.**, Стукалов П.М., Пряхин Е.А. Планктонные сообщества водоемов-хранилищ жидких среднеактивных радиоактивных отходов В-9 и В-17 ПО «Маяк» // VI Съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиационная экология, радиационная безопасность): Тезисы докладов. Том II (секция VIII-XIV). Москва, 25 – 28 октября 2010 г. – М.: РУДН, 2010. – С. 75.
6. **Осипов Д.И.**, Андреев С.С., Дерябина Л.В. Сравнительная оценка состояния зоопланктона водоема В-10 Теченского каскада водоемов и Шершневого водохранилища // Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования: материалы III Всерос. науч.-практ. конф. Нижний Тагил, 1 – 5 марта 2010. Ч. II / отв. Ред. Т.В. Жуйкова, О.В. Семенова, О.А. Тимохина; Нижнетагил. гос. соц. – пед. акад. – Нижний Тагил, 2010. С. 105 – 106.
7. **Осипов Д.И.**, Стукалов П.М., Пряхин Е.А. Зоопланктон промышленных водоемов В-9 и В-17 ПО «Маяк» // Хроническое радиационное воздействие: эффекты малых доз: Тезисы докладов IV международной конференции, 9 – 11 ноября 2010 г., г. Челябинск. / отв. Ред. А.В. Аклеев. – Челябинск: Изд-во «Челябинская государственная медицинская академия», - 2010. – С. 131 – 132.
8. Пряхин Е.А., Тряпицына Г.А., Дерябина Л.В., Стукалов П.М., Андреев С.С., Духовная Н.И., **Осипов Д.И.**, Шапошникова И.А., Тарасова С.П., Обвинцева Н.А., Стяжкина Е.В., Костюченко В.А., Аклеев А.В. Гидробиологические исследования специальных промышленных водоемов ПО «Маяк» // Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды: материалы III Международной научно-практической конференции, Челябинск: изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, - 2010. – С. 16-17.

9. **Osipov D.I.**, Andreev S.S., Deryabina L.V. Use of zooplankton parameters as indicators of radioactive contamination of water ecosystems // EPRBioDose 2010 International Conference. Abstract book. Mandelieu-La Napoule (France), October 10-14, 2010. Rome: Pioda Imaging. – 2010. – P. 76.