

На правах рукописи



Морозова Инна Ивановна

СТРУКТУРА ЗООПЕРИФИТОНА И ЕГО ИНФОРМАТИВНОСТЬ В
ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
БАССЕЙНА ЕНИСЕЯ

Специальность 03.02.10 - гидробиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Красноярск - 2010

Работа выполнена в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» на кафедре водных и наземных экосистем Института фундаментальной биологии и биотехнологии

Научный руководитель: кандидат биологических наук, профессор
Гольд Зоя Георгиевна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Кратасюк Валентина Александровна

кандидат биологических наук, с.н.с
Шарапова Татьяна Александровна

Ведущая организация: НИИ Биологии при Иркутском государственном университете (г. Иркутск)

Защита состоится «28» января 2011 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.15 при Сибирском федеральном университете

По адресу: 660041, г. Красноярск, проспект Свободный, 79, ауд. Р8-06
Факс: 8(391)2912852

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского федерального университета

Автореферат разослан «___» _____ 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.б.н. доцент



Н.А.Гаевский

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Рациональное использование и охрана водных ресурсов - одна из важнейших проблем современности, решение которой невозможно без хорошего объективного контроля за состоянием экосистемы и качеством воды. Проблема экспертных оценок качества воды и состояния водных экосистем достаточно удовлетворительно может быть решена определением пределов варьирования химического состава природных вод (Максимов и др., 2000) и соответствующих эволюционно закрепленных пределов изменчивости структурно-функциональных характеристик природных популяций и сообществ (Кожова и др., 1999). Вредное действие физических, химических и других факторов при их комбинировании может суммироваться (аддитивное или независимое действие), ослабляться (антагонизм) или усиливаться (синергизм), ПДК химических компонентов не ориентированы на экосистему в целом (Баренбойм, 1998; Булгаков, 2002). Указанные ограничения в значительной степени могут быть нивелированы использованием биологических методов контроля качества вод и состояния экосистем (биоиндикация, биотестирование). Биотестирование дает интегральную оценку качества вод по токсическим эффектам у биотестов. Биоиндикация, включающая анализ природных сообществ, дает объективные оценки качества вод, учитывающие ретроспективные ситуации в водных объектах (Филенко, 1999).

Основу определения качества вод, расчетов нормативов допустимого вредного воздействия на водные экосистемы, составляет учет регионального фактора, специфика которого убедительно доказана разнообразными экологотоксикологическими разработками (Яковлев, 1988; Гольд, Морозова и др., 2003) и учтена в природоохранных нормативных документах (Методические указания ... от 23.01.2008 г. №10974).

Среди водных сообществ, особенно водотоков важную роль играют донные и перифитонные сообщества. Перифитон, включающий автотрофное (фитоперифитон) и гетеротрофное (бактерио- и зооперифитон) звенья наиболее значим в мониторинге водных экосистем (Руководство по методам ..., 1983). Структурные и функциональные характеристики зооперифитона важны в экологическом контроле, санитарно-гигиеническом и рекреационном планах для конкретных регионов (Шарапова, 1998; Силаева и др., 1999; Протасов, 2000; Скальская, 2002).

Зооперифитон водных объектов бассейна среднего Енисея ранее не изучался.

Объект исследования. Литоральный зооперифитон с галечно-каменистого субстрата (эпилитон) и тест-объекты *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, *Paramecium caudatum* Ehrenberg, в биомониторинге природных вод бассейна р. Енисей

Исследуемые водные объекты:

- водная система «Ручей Черемушный - р. Енисей», состоящая из ручья Черемушный, принимающего стоки алюминиевого производства (водоток), и прилегающего участка р. Енисей;

- водная система «Пруды-отстойники фармацевтического производства - р. Енисей», состоящая из прудов-отстойников, принимающих стоки фармацевтического производства с выходом в р. Енисей (система «смешанного» типа «водоем-водоток»);

- Красноярское водохранилище, принимающее оформленные и рассеянные стоки с водосборной площади (водоем лимнического типа).

Цель работы: Изучить структуру зооперифитона и его информативность в оценке качества воды разнотипных водных объектов р. Енисей, находящихся в

разных условиях антропогенной нагрузки.

Задачи работы:

1. Изучить таксономическую структуру зооперифитона исследуемых водных объектов.

2. Исследовать пространственно-временную динамику численности и биомассы зооперифитонного сообщества.

3. Оценить качество вод исследуемых водных объектов по химическим показателям и токсическим эффектам по рачковому и протозойному тестам.

4. Определить качество воды по сапробным и токсобным характеристикам зооперифитонтов (индивидуальная сапробность, индивидуальная сапротоксность, индекс сапробности, индекс сапротоксности).

Положения, выносимые на защиту:

1. Исследованные водные системы имеют как общие, так и специфические комплексы доминирующих видов зооперифитона.

2. Плотность (численность, биомасса) зооперифитонных сообществ варьировала как в пространственном (водоем, районы загрязнения, участки Енисея), так и во временном (месяц, год) аспектах.

3. Дифференцированные оценки качества воды по химическим показателям (БПК₅, ХПК, К, ИЗВ) и токсическим эффектам (реакции рачкового и протозойного тестов) адекватны уровню антропогенной нагрузки.

4. Индексы сапробности, рассчитанные по индивидуальным сапробностям зооперифитонтов, дают в исследованных водных объектах более выровненные и завышенные оценки качества вод по сравнению с оценками по величинам индивидуальных сапротоксностей и индексам сапротоксности.

Научная новизна. Впервые изучен зооперифитон водных объектов бассейна среднего Енисея, выделены структурообразующие комплексы, изучена пространственно-временная динамика плотности сообщества зооперифитона. Впервые дана оценка современного уровня сапробности и токсобности (по рачковому и протозойному тестам) вод исследуемых водных объектов на основе структурной организации зооперифитонных сообществ.

Практическая значимость. Полученные данные по структуре и плотности зооперифитона, токсичности и взаимосвязи показателей в биоиндикации и биотестировании могут быть использованы как компонент комплексной экспертной оценки качества воды водных объектов бассейна Енисея. Они необходимы для экологического контроля: по линии биотестирования - экспресс-метод с *Paramecium caudatum* и острые и хронические эксперименты *Ceriodaphnia affinis*, биоиндикации - плотность популяций зооперифитона. С учетом реакций тест-объекта *Ceriodaphnia affinis* и гетеротрофного звена перифитона природных сообществ дополнен унифицированный классификатор качества вод по химическим и биологическим показателям. Результаты включены в информационную модель Красноярского водохранилища. Они могут быть использованы при организации экологического мониторинга и при разработке региональных нормативов допустимого воздействия на экосистемы бассейна р. Енисей. Данные входят в базу данных «Биота» (Свидетельство об официальной государственной регистрации базы данных № 2003620149, Роспатент РФ).

Апробация работы. Результаты исследований были представлены на: Научных чтениях памяти Б.Г.Иоганзена (Томск, 1998), V Международном симпозиуме «Чистая вода России – 99» (Екатеринбург – 1999); 2-й Всероссийской научно-

практической конференции «Проблемы экологии и развития городов» (Красноярск, 2001), VIII съезде Гидробиологического общества РАН (Калининград, 2001); Международной конференции «Новые технологии в защите биоразнообразия в водных экосистемах» (Москва, 2002); II Международной научной конференции «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды» (Минск-Нарочь, 2003); VII Дальневосточной молодежной школе-семинаре по актуальным проблемам химии и биологии, (Владивосток, 2003); Второй международной научной конференции "Биотехнология-охране окружающей среды" и третьей школы-конференции молодых ученых и студентов "Сохранение биоразнообразия и рациональное использование биологических ресурсов" (Москва, 2004); IX- X съездах гидробиологического общества при РАН (Тольятти, 2006, Владивосток, 2009); Международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем» (Санкт-Петербург, 2007).

Исследования проводились в рамках и при поддержке: целевых заказов Красноярского государственного краевого экологического фонда, Енисейского бассейнового водного управления на тему «Разработка принципов комплексной биологической оценки качества воды и состояния экосистемы р. Енисей в черте г. Красноярска»; госбюджетной темы «Разработка критериев комплексной биологической оценки состояния природных экосистем и качества окружающей среды», программ Министерства образования Российской Федерации «Фундаментальные проблемы окружающей среды», «Университеты России – фундаментальные исследования»; гранта Министерства образования Российской Федерации, программ: «Фундаментальные исследования в области естественных наук», «Фундаментальные исследования и высшее образование» и Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF № REC-002); гранта № 1M0001 совместного конкурса НОЦ "Енисей" и Красноярского краевого фонда науки.

Место проведения работы. Работа выполнялась в лаборатории "Биотестирования вод" кафедры водных и наземных экосистем Сибирского федерального университета (г. Красноярск). Полевые исследования проводились на водных объектах бассейна р. Енисей, расположенных в окрестностях г. Красноярска (ручей Черемушный, пруды-отстойники фармацевтического производства, река Енисей, Красноярское водохранилище).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах (перечень ВАК), а также 14 работ в форме тезисов, материалов конференций и статей в сборниках.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 138 страницах, включает введение, 4 главы, выводы, проиллюстрирована 25 таблицами и 19 рисунками. Библиографический список состоит из 175 источников, в т.ч. 16 - иностранных.

Автором работы осуществлялся сбор и обработка проб зооперифитона, внесение материала в базу данных «Биота» модули «Зооперифитон», «Биотест». Автор принимала непосредственное участие в разработке списков индивидуальной сапротоксобиоты видов зооперифитона. Автором проведены все работы по биотестированию вод по рачковому тесту и частично по парамециидному. Рассчитаны индексы по структуре зооперифитона, оценкам качества воды и проведена статистическая обработка полученных данных.

Глава 1. Обзор литературы

В главе рассматриваются современные взгляды на использование единого ком-

плекса биологических параметров, учитывающих воздействие загрязнения природного и антропогенного происхождения, «перифитон» и «зооперифитон», его структура и разнообразие. Анализируется использование зооперифитонтов как объектов биомониторинга (биоиндикация и биотестирование). Описывается роль видов-обрастателей в функционировании и в оценках состояния водных экосистем различных географических местоположений.

Глава 2. Объекты и методы исследований

Сбор и обработка материала осуществлялись в соответствии с методами "Руководства по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений" (1983), «Руководства по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем» (1992) и модифицированными разработками применительно к исследуемым объектам.

Зооперифитон отбирался в литорали на глубине 0.3-0.5 м с камней, соскоб - 9 см² в трех повторностях. Видовое разнообразие оценивалось по индексу Шеннона (цит. по Песенко, 1982, стр. 276). Сравнение списков видов проводилось по коэффициенту Серенсена-Чекановского (Ksc) (Василевич, 1969) с оценкой достоверности различий по критерию Фишера (Зайцев, 1984). Качество воды оценивалось по индексу сапробности S, рассчитанному методом Пантле и Букка в модификации Дзюбана и Кузнецовой (Дзюбан, Кузнецова, 1977) и индексу сапротоксобности (St) (Яковлев, 1988), с включением региональных индивидуальных сапротоксобностей (Sti), разработанных для водных объектов бассейна Енисея (Гольд, Морозова и др., 2003, 2007, 2008). Количество собранного материала и проведенных экспериментов приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Объем материала, собранного на различных водных объектах бассейна р. Енисей

Водный объект	Период отбора проб	Объем собранного материала, проб	Количество экспериментов с <i>Ceriodaphnia affinis</i>	Количество экспериментов с <i>Paramecium caudatum</i>
Ручей Черёмушный и прилегающий к нему район р. Енисей	июнь - август 1998 г., 2000 г. июль 1999 г.	162	54	82
Пруды – отстойники и прилегающий к ним район р. Енисей	июнь - август 1998 г., 2000 г. июль 1999 г.	108	47	66
Красноярское водохранилище	август, 2001-2003, 2005 гг., июль – август 2003	180	68	104

Химический состав вод исследуемых водных объектов предоставлен Центром лабораторного анализа и технических измерений по Красноярскому краю, лабораторией Центра коллективного пользования приборами СФУ, химической лабораторией Института биофизики Сибирского отделения РАН.

Оценка качества воды и степени загрязнения вод проводилась по комплексу химических и биологических показателей: индекс загрязнения воды (ИЗВ), коэффициент комплексности загрязненности воды (К, %), биохимическое и химическое потребление кислорода (БПК₅, ХПК) индексы сапробности (S) и сапротоксобности (St). Класс, степень загрязнения оценивались по классификаторам (ГОСТ 17.1.3.07-82, 1982; Гусева и др., 2000; РД 52.24.643–2002, 2002; Шитиков и др., 2005; Гольд, Морозова и др., 2003).

Биотестирование проведено с тест-объектами *Paramecium caudatum* Ehrenberg (Методика ... ПНД ФТ 14.1:2:3:4.2-98, 1998; Методика ..., 2005), *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (РД-118-02-90., 1991; Методика ... ФР.1.39.2001.00282, 2001;).

Экспресс-метод по хемотаксической реакции парамеций: показатель токсичности – число выходов клеток в зону тестируемой воды, регистрируемое на приборе Биотестер-2, критерий токсичности – достоверность различий активности выходов инфузорий в опыте от контроля. Степень загрязнения вод устанавливалась по пороговым значениям индекса токсичности (Т): $0.00 < T < 0.40$ - допустимая степень загрязнения; $0.41 < T < 0.70$ - умеренная степень загрязнения; $T > 0.71$ - высокая степень загрязнения.

В экспериментах с рачком *Ceriodaphnia affinis*, Lilljeborg, острые (48 час.) и хронические (7 сут.) токсические эффекты оценивались по двум показателям – выживаемость и темп отрождения молоди в пересчете на одну исходную самку; критерий токсичности – 50% порог гибели рачков в острых экспериментах, 20% гибель рачков и достоверное отличие опытных значений темпа отрождения молоди от контрольных в хронических вариантах экспериментов.

В заключительных рекомендациях установки класса качества воды использован принцип, рекомендованный Н.С. Жмур (1997, с.14): «... в случае получения несовпадающих и даже противоречивых данных сохраняет свое действие правило: итоговое заключение делается по тому параметру, который выявляет максимальное воздействие на окружающую среду».

Глава 3. Структура зооперифитонных сообществ исследуемых водных объектов

Видовая структура. В составе зооперифитона зарегистрировано 139 видов, из них: в водной системе «ручей Черемушный - р. Енисей» - 47 видов; в водной системе «Пруды-отстойники - р. Енисей» – 62 вида, в Красноярском водохранилище - 82 вида.

Водная система «Ручей Черемушный - р. Енисей». За 3-хлетний период исследований зооперифитона указанной водной системы «Ручей Черемушный - река Енисей» (1998-2000 гг.) обнаружено 47 видов, относящиеся к 10 таксономическим группам: двукрылые (Diptera) – 12 видов, коловратки (Rotatoria) - 11, ракообразные (Crustacea) – 6, олигохеты (Oligochaeta) - 7, моллюски (Gastropoda) - 4, пиявки (Hirudinea) - 3, гидрозои (Hydrozoa), тихоходки (Tardigrada), ручейники (Trichoptera) и нематоды (Nematoda) по одному виду.

Пространственная динамика рассмотрена на примере средних значений структурных показателей зооперифитона в пробах, отобранных в июле 2000 г.

Число видов по районам исследования водной системы «Ручей Черемушный – р. Енисей» варьировало незначительно на уровне 4-6 видов. Доминировали на участке поступления сточных вод алюминиевого производства в ручей Черемушный с численностями по 0.74 тыс. экз./м² пиявка *Erpobdella octoculata* Linne, хирономида *Cricotopus* гр. *algarum* Kieffer и моллюск *Choanomphalus rossmaessleri* A. Schmidt. На участке ручья Черемушного ниже поступления сточных вод по численности преобладали моллюски *Choanomphalus rossmaessleri* и *Physa acuta* Draparnaud с численностями по 3.89 тыс. экз./м². В устье ручья Черемушного виды по численности распределялись равномерно. На участке р. Енисей 500 м выше впадения ручья Черемушного доминировали нематоды *Nematoda* sp. с численностью 18.88 тыс. экз./м². На участке р. Енисей 500 м ниже впадения ручья доминировали представители двукрылых: *Cricotopus* гр. *algarum* и *Cricotopus* гр. *silvestris* Fabricius.

Общая численность зооперифитона водной системы «ручей Черемушный – р. Енисей» варьировала от 2.59 ± 0.04 тыс. экз./м² (поступление сточных вод в ручей) до 38.87 ± 5.00 тыс. экз./м² (р. Енисей выше устья ручья) (рис. 3.1.1).

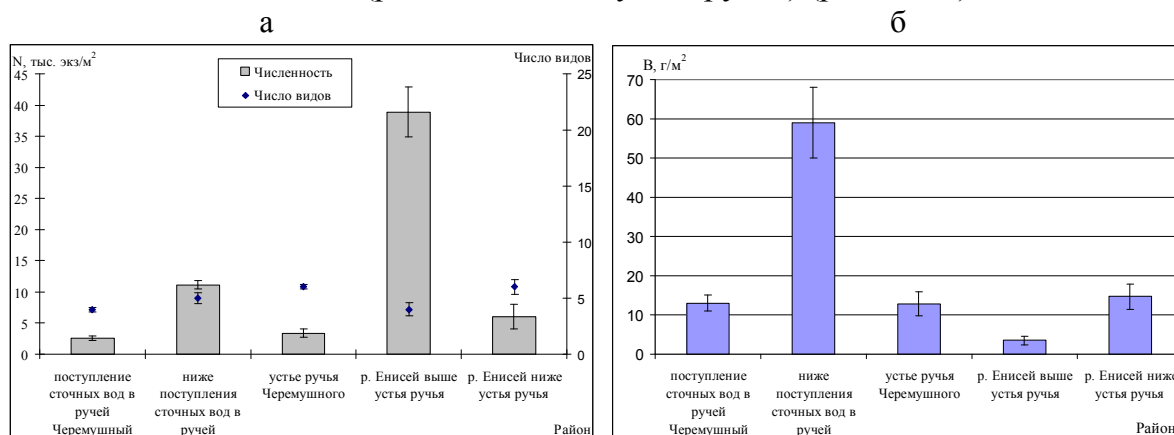


Рисунок 3.1.1 – Пространственная динамика: а - числа видов и численности (N, тыс. экз./м²), б - биомасса (B, г/м²) зооперифитона водной системы «Ручей Черемушный – р. Енисей», июль 2000 г.

Высокая численность на участке р. Енисей выше устья ручья обусловлена доминированием мелких нематод *Nematoda sp.*, их высокая численность может свидетельствовать о существовании токсического загрязнения (Скальская, 1992; Шапапова, 2007). На других участках анализируемой системы нематоды были представлены единично. Только на этом участке зарегистрировано достоверное различие ($p < 0.05$) численности зооперифитона по сравнению с другими районами водной системы.

В устье ручья Черемушного не проявился эффект экотона с наибольшим числом видов и высокой численностью.

По биомассе максимум зарегистрирован на участке ниже поступления стоков за счет доминирования моллюска *Physa acuta*, обусловившей превышение биомассы в 4 раза по сравнению с другими участками.

Межгодовая динамика числа видов и плотности зооперифитона проанализирована на примере проб, отобранных в июле 1998-2000 гг. (рис. 3.1.2).

Видовое разнообразие в межгодовом аспекте варьировало от 2 видов (р. Енисей выше устья ручья) в 1999 г. до 10 видов (район поступления сточных вод в ручей) в 1999 г. Межгодовые достоверные различия в числе видов в пределах одного участка не зарегистрированы.

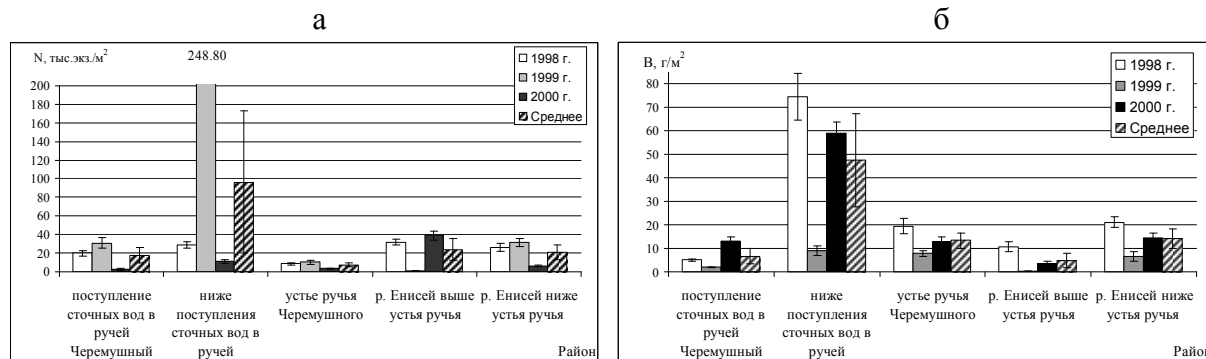


Рисунок 3.1.2 – Межгодовая динамика плотности зооперифитона водной системы «Ручей Черемушный – р. Енисей», июль 1998-2000 гг. а – численность (N, тыс. экз./м²), б - биомасса (B, г/м²).

В межгодовой динамике общей численности зооперифитона зарегистрировано достоверное увеличение в 1999 г. (в 12 раз) за счет доминанта по численности *Cricotopus* гр. *algarum* (205.19 тыс. экз./м²) в районе ниже поступления сточных вод в ручей по сравнению с другими годами и районами исследованной водной системы.

В динамике биомассы по исследуемым годам максимальные величины зарегистрированы в 1998 г. (74.60 г/м²) и в 2000 г. (59.08 г/м²) на участке ниже поступления сточных вод в ручей, где в целом проявилось увеличение биомассы в 12-15 раз по сравнению с другими участками ($p < 0.05$).

Летняя (внутрисезонная) динамика структурных показателей зооперифитона рассмотрена на примере проб, отобранных в летний период 1998 г. В летней динамике величин числа видов проявилась тенденция снижения от июня к августу на участках поступления сточных вод в ручей, ниже поступления сточных вод в ручей и в р. Енисей ниже устья ручья Черемушного. Противоположная тенденция увеличения числа видов от июня к августу отмечена в районе устья ручья Черемушного. Аналогичная динамика по районам проявилась и в величинах плотности зооперифитонного сообщества, отмеченные различия между летними месяцами в рассмотренных структурных показателях были не достоверны ($p > 0.05$). Исключение ($p < 0.05$) составил июнь в районе поступления сточных вод в ручей, где высокая численность зооперифитона была обусловлена большим количеством молодежи олигохет.

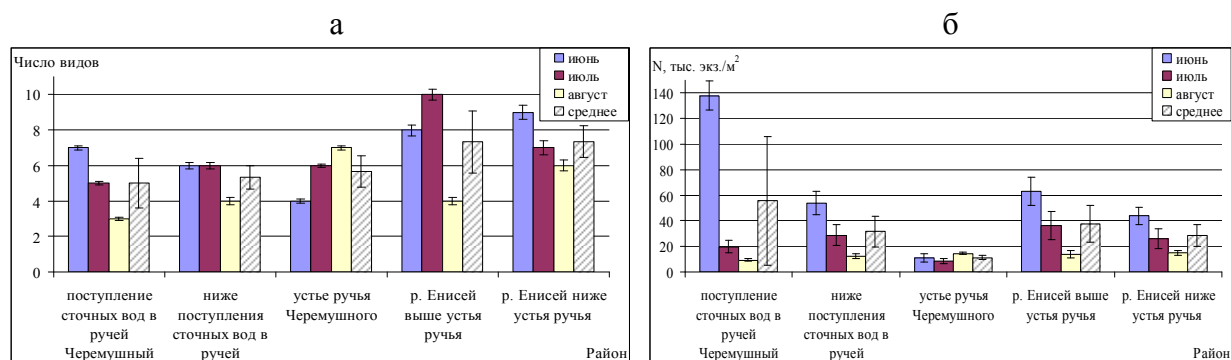


Рисунок 3.1.3 – Летняя динамика числа видов – а, численности (N, тыс. экз./м²) - б зооперифитона водной системы «Ручей Черемушный – р. Енисей», 1998 г.

Достоверное различие в видовом разнообразии зооперифитона по экологическому коэффициенту общности Серенсена –Чекановского (Ksc) ($p < 0.05$) зарегистрировано между июнем и июлем на всех участках (Ksc=0.33-0.40); июлем и августом в районе поступления сточных вод, устье ручья Черемушного и в р. Енисей ниже устья ручья.

В динамике структурных характеристик зооперифитона анализируемой водной системы зарегистрирован высокий уровень вариабельности по районам, годам и месяцам, что может быть обусловлено сезонными изменениями метеоусловий, режимом работы предприятия алюминиевого производства, меняющим химический состав сточных вод, поступающих в ручей Черемушный.

Водная система «Пруды-отстойники – р. Енисей». За 3-хлетний период исследований водной системы «Пруды-отстойники – р. Енисей» (1998-2000 гг.), было обнаружено 62 вида зооперифитона, которые относятся к 12 таксономическим группам: коловратки (Rotatoria) – 24, хирономиды (Chironomidae) – 12, ракообразные (Crustacea) – 9, олигохеты (Oligochaeta) – 6, моллюски (Gastropoda) - 3, тихоходки (Tardigrada) - 2, пиявки (Hirudinea), веснянки (Plecoptera), ручейники

(Trichoptera), поденки (Ephemeroptera), нематоды (Nematoda) и симулиды (Simuliidae) - по одному виду.

Пространственная динамика структурных показателей рассмотрена на примере средних значений зооперифитона в пробах, отобранных в летний период 2000 г.

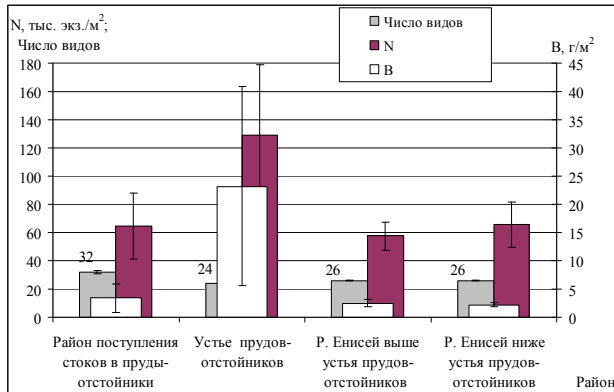


Рисунок 3.1.4 - Пространственная динамика числа видов, численности - N, тыс. экз./м², биомассы (B, г/м²) зооперифитона водной системы «Пруды-отстойники - река Енисей», 2000 г.

преобладавший в районе поступления стоков, *Habrotrocha bidens* (21.23 тыс. экз./м²), по биомассе, как и в районе поступления сточных вод, доминант - пиявка *Erpobdella octoculata* (9.13 г/м²). На участке Енисей выше устья прудов-отстойников по численности и биомассе доминировала хирономида *Cricotopus* гр. *algarum* – 19.96 тыс. экз./м², 1.16 г/м². В районе р. Енисей ниже устья прудов-отстойников доминант по численности и биомассе, как и в районе р. Енисей выше устья прудов отстойников, был *Cricotopus* гр. *algarum* – 17.63 тыс. экз./м², 1.29 г/м².

В устье прудов-отстойников зарегистрированы максимальные значения численности (129.00±68.30 тыс. экз./м²), обусловленные присутствием мелких хирономид и коловраток и биомассы (23.16±17.30 г/м²), обусловленной крупной пиявкой *Erpobdella octoculata*, зооперифитона, что соответствует проявлению эффекта экотона.

Межгодовая динамика видового состава и плотности зооперифитона проанализирована на примере проб, отобранных в июне-августе 1998-2000 гг. (рис. 3.1.5).

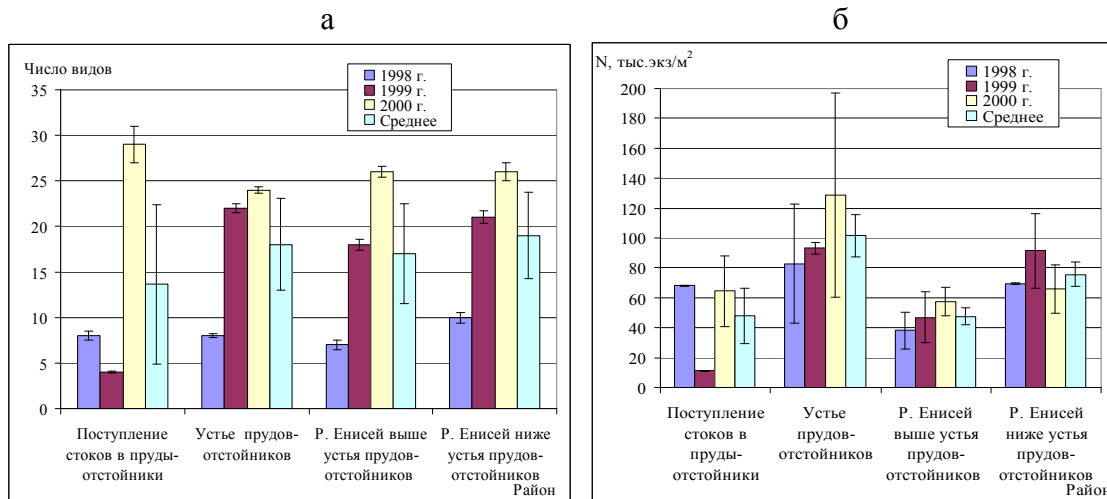


Рисунок 3.1.5 - Межгодовая динамика а - числа видов, б - численность (N, тыс. экз./м²) зооперифитона водной системы «Пруды-отстойники - река Енисей», 1998-2000 г.

Минимальное (4 вида в 1999 г.) и максимальное (29 видов в 2000 г.) количество видов зарегистрировано в районе поступления сточных вод в пруды-отстойники, на остальных участках исследуемой водной системы имелась тенденция увеличения числа видов от 1998 г. к 2000 г. Средние за 3 года величины числа видов по районам исследований достоверно не отличались ($p > 0.05$).

В межгодовой динамике общей численности зооперифитона в устье прудов зарегистрировано достоверное ($p < 0.05$) увеличение (в 6 раз) в 2000 г. за счет мелкого доминанта *Cricotopus* гр. *silvestris* (8.40 тыс. экз./м²). По другим участкам системы «Пруды-отстойники – р. Енисей» достоверных различий в численности зооперифитона между годами исследований не зарегистрировано ($p > 0.05$).

Летняя (внутрисезонная) динамика структурных показателей зооперифитона рассмотрена на примере проб, отобранных в период июнь – август 2000 г.

В летней динамике величин числа видов проявилась достоверное ($p < 0.05$) увеличение числа видов от июня (17 видов) к июлю (32 вида), а затем снижение к августу (8 видов) на участке поступления сточных вод в пруды отстойники.

В районе устья прудов-отстойников в динамике общей численности зооперифитона зарегистрировано достоверное увеличение от июня к июлю и уменьшение от июля к августу. В динамике биомассы зооперифитонтов максимальная величина зарегистрирована в августе (доминировали пиявки *Erpobdella octoculata* – 27.40 г/м²), когда проявилось увеличение биомассы в 7-25 раз по сравнению с другими участками и где имели место достоверные различия и в численности, и в биомассе ($p < 0.05$) (рис. 3.1.6), это соответствует эффекту экотона.

По другим участкам системы «Ручей Черемушный – р. Енисей» достоверных различий в плотности зооперифитона между летними месяцами не зарегистрировано ($p > 0.05$).

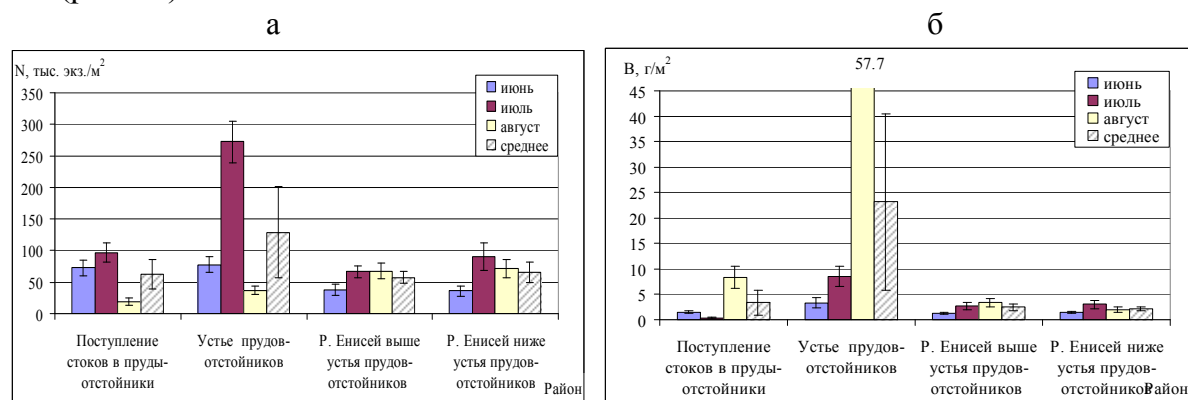


Рисунок 3.1.6 – Летняя (внутрисезонная) динамика плотности: а – численность (N, тыс. экз./м²), б – биомасса (B, г/м²) зооперифитона водной системы «Пруды-отстойники – р. Енисей», июнь-август, 2000 г.

Достоверное различие в видовой структуре зооперифитона по экологическому коэффициенту общности Серенсена –Чекановского (K_{sc}) ($p < 0.05$) зарегистрировано между: июнем и июлем только на участке р. Енисей ниже устья прудов-отстойников ($K_{sc}=0.33$); июлем и августом в районе поступления сточных вод ($K_{sc}=0.23$), устье прудов-отстойников ($K_{sc}=0.17$). В динамике видовой структуры зооперифитонного сообщества за летний период не зарегистрировано определенных закономерностей – это может быть следствием изменяющегося режима работы предприятия, влияющего на состав токсических соединений в воде.

Красноярское водохранилище. За шестилетний (2000-2005 гг.) период исследований на Красноярском водохранилище обнаружено 82 вида зооперифитона, кото-

рые относятся к восьми таксономическим группам: коловратки (Rotatoria) – 24, хирономиды (Chironomidae) – 20, ракообразные (Crustacea) – 17, малощетинковые черви (Oligochaeta) – 14, моллюски (Gastropoda) - 2, веснянки (Plecoptera), поденки (Ephemeroptera), стрекозы (Odonata), клопы (Hemiptera), паукообразные (Arachnoidea) по 1 виду.

Пространственная динамика структурных показателей зооперифитона рассмотрена на примере августа 2005 г.

Верхний район водохранилища. Максимальное количество видов – 10 зарегистрировано на Усть-Абаканском плесе, минимальное - на Краснотуранском – 4 вида. Доминировали в верхнем районе по численности *Nais pseudobtusa* Piguet - 6.29 тыс. экз./м², хирономиды *Cricotopus* гр. *silvestris* и моллюски *Choanomphalus rosmaessleri* по 1.85 тыс. экз./м². Специфичных, характерных только для верховья водохранилища зарегистрировано 12 видов зооперифитона. Индекс видового разнообразия Шеннона варьировал от 1.90 до 2.63 бит.

Средний район водохранилища. В зооперифитоне Новоселовского и Приморского плесов зарегистрировано по 2 вида зооперифитона. На Новоселовском - *Nais pseudobtusa* - 0.38 тыс. экз./м² и науплии ракообразных - 0.75 тыс. экз./м². На Приморском - моллюск *Choanomphalus rosmaessleri* - 0.37 тыс. экз./м² и представитель паукообразных *Hydracarina* sp. - 0.74 тыс. экз./м², который был специфичен для данного участка. Индекс видового разнообразия обоих районов по 0.92 бит.

Нижний район водохранилища. На Щетинкинском плесе в зооперифитоне зарегистрировано 4 вида, доминировал по численности представитель олигохет *Nais pseudobtusa* - 1.11 тыс. экз./м², по биомассе моллюск *Choanomphalus rosmaessleri* - 10.91 г/м². Специфичных видов в данном районе не отмечено. Индекс видового разнообразия Шеннона - 1.84 бит.

В Приплотинном районе в зооперифитоне зарегистрированы только представители моллюсков (2 вида). Доминантом по численности и биомассе был моллюск *Lymnaea (Radix) ovata* Draparnaud (Ni=1.48 тыс. экз./м², Vi=47.56 г/м²), он же был и специфичен для данного участка.

В динамике плотности зооперифитона по акватории Красноярского водохранилища в августе 2005 г. максимум численности приходился на Усть-Абаканский плес (16.72 тыс. экз./м²), биомассы - на Щетинкинский плес (12.52 г/м²).

По оси водохранилища от верховья плотность зооперифитона по численности снижается к средней части в 7 раз, от средней к низовью возрастает в 2 раза, по биомассе - возрастает от верховья к плотине в 7 раз. Индекс видового разнообразия снижался от верховья (2.63 бит) к плотине (0.72), т.е. прослеживалась четкая тенденция упрощения структуры сообщества зооперифитона. В среднем по 7 анализируемым плесам Красноярского водохранилища за 2005 г. численность зооперифитона составляла 3.87 ± 2.23 тыс. экз./м², биомасса - 4.00 ± 2.42 г/м².

Межгодовая динамика видового состава и плотности зооперифитона проанализирована по августу 2000-2003, 2005 гг. на Приплотинном плесе. За данный период не обнаружены постоянно присутствующие виды. По одному общему виду приходится на 2000 г. и 2003 г. – *Nais barbata* O.F. Muller, 2001 г. и 2003 г. – *Chydorus sphaericus* O.F. Muller.

Видовое разнообразие зооперифитона Красноярского водохранилища уменьшалось от 2001 г. (52 вида) к 2005 г. (19 видов). Из 82 видов, отмеченных в зооперифитоне, 32% встречались в пробах зоопланктона (Морозова и др., 2008), 40% зарегистрированы в пробах зообентоса (Гольд и др., 2008).

В межгодовой динамике общей численности зооперифитона зарегистрировано достоверное увеличение (от 2 раз в 2000 г. до 19 раз в 2002 г.) за счет доминантов по численности: *Chydorus sphaericus*, *Testudinella patina* Herman, *Endochironomus albipennis* Meigen (по 6.67 тыс. экз./м²). В динамике биомассы по исследуемым годам максимальная величина зарегистрирована в 2005 г. (доминировали моллюски *Lymnaea (Radix) ovata*) (рис. 3.1.7). По коэффициенту общности видового состава зооперифитона Серенсена–Чекановского между 2000–2005 гг. различия в видовой структуре зооперифитона достоверны ($p < 0.05$).

Летняя (внутрисезонная) динамика структурных показателей зооперифитона рассмотрена за период июнь – август 2003 г. на Приплотинном плесе (рис. 3.1.8).

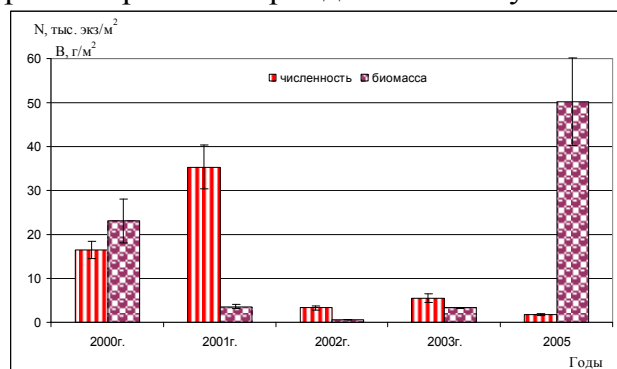


Рисунок 3.1.7 – Межгодовая динамика плотности зооперифитона Приплотинного плеса Красноярского водохранилища, август, 2000-2005 гг.

В июне видовое разнообразие представлено 9-ю видами из класса Crustacea, отряда Cyclopoida (58% от общего числа видов) и представителями класса Rotatoria (42%). В июле видовое разнообразие увеличилось, по сравнению с июнем, и составило 15 видов с доминированием Rotatoria и Crustacea по 40%. Появились представители подсемейства Chironominae (Diptera) – 20%. Специфичными для данного месяца являлись – *Cryptochironomus defectus* Kieffer, *Limnochironomus nervosus* Staeger и

Micropsectra praecox Meigen. К августу видовое разнообразие значительно уменьшилось до 4 видов, за счет уменьшения числа видов в классе Crustacea, отсутствия организмов зооперифитона из класса Rotatoria и подсемейства Chironominae. Специфичным видом была олигохета *Pristina longiseta*.

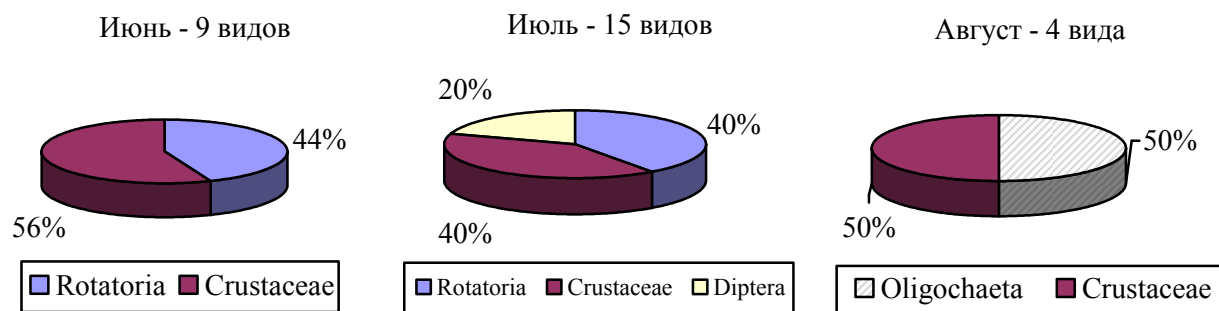


Рисунок 3.1.8 - Соотношение (%) таксономических групп зооперифитона Красноярского водохранилища, Приплотинный плес, 2003 г.

По коэффициенту общности видового состава (2003 г.) Серенсена–Чекановского в июне и июле ($K_{sc} = 0.33$ бал.), июле и августе ($K_{sc} = 0.11$ бал.), июне и августе ($K_{sc} = 0$ бал.) различия в видовой структуре зооперифитона достоверны ($p < 0.05$). В летние период формируются различные комплексы доминирующих видов. Отсутствовали виды, которые наблюдались в течение всего вегетационного периода.

Плотность зооперифитонного сообщества на Приплотинном плесе Красноярского водохранилища достоверно возрастала от июня к июлю и снижалась к авгу-

сту (рис. 3.1.9). По численности (35.50 тыс. экз./м²) и биомассе (30.60 г/м²) доминировал *Chydorus sphaericus* (Crustacea).

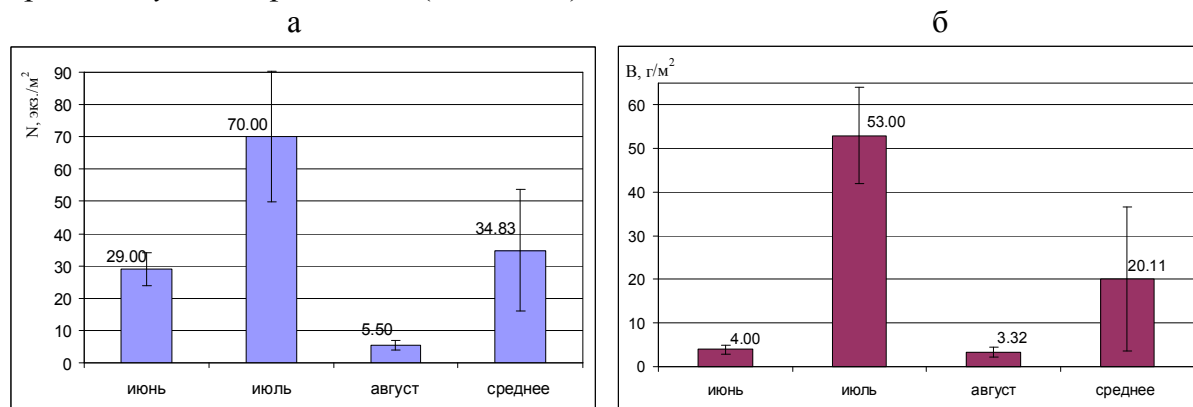


Рисунок 3.1.9 – Летняя (внутрисезонная) динамика плотности зооперифитона Приплотинного плеса Красноярского водохранилища, июнь – август 2003 г. а - численность (тыс. экз./м²), б - биомасса (г/м²)

Сравнительный анализ структурных характеристик зооперифитона. Общими для изучаемых трех водных систем были 13 видов (9%) из которых 7 были доминантами (табл. 3.2). В каждой водной системе обозначился комплекс доминирующих видов. В загрязняемых прудах и ручье Черемушном был общий доминант *Cricotopus* гр. *algarum*.

Таблица 3.2 - Среднегодовые величины плотности, комплексы доминирующих видов сообществ зооперифитона водных систем бассейна р. Енисей

Показатель	Ручей Черемушный - р. Енисей			Пруды-отстойники - р. Енисей			Красноярское водохранилище		
	Поступление стоков	Р.Енисей 500 м ниже устья	Среднее	Поступление стоков	Р.Енисей 500 м ниже устья	Среднее	Моховский плес	Приплотинный плес	Среднее
Число видов	6.00± 2.08	6.33 ± 0.33	6.17 ± 0.17	14.67± 8.74	19.00± 4.73	16.84± 2.17	3.50± 1.50	7.02± 1.43	5.35± 1.85
Численность, тыс. экз./м ²	6.86± 2.99	21.18± 7.72	14.02± 7.16	47.87± 18.41	75.55± 7.99	61.71± 13.84	4.59± 0.59	12.48± 6.26	3.03± 1.57
Биомасса, г/м ²	0.85± 0.63	14.12± 4.24	7.49± 6.64	1.31± 1.05	20.05± 13.29	10.68± 9.37	1.46± 0.27	16.14± 9.41	14.31± 1.83
Комплекс доминирующих видов	<i>Cricotopus</i> гр. <i>silvestris</i> , <i>Cricotopus</i> гр. <i>algarum</i> <i>Nematoda</i> sp.,			<i>Habrotrocha bidens</i> , <i>Erpobdella octoculata</i> , <i>Cricotopus</i> гр. <i>algarum</i>			<i>Nais pseudobtusa</i> , <i>Choanomphalus rossmaessleri</i>		
Виды-доминанты общие для исследуемых водных объектов	<i>Euchlanis dilatata</i> , <i>Nais pseudobtusa</i> , <i>Nais communis</i> , <i>Cricotopus</i> гр. <i>silvestris</i> , <i>Cricotopus</i> гр. <i>algarum</i> , <i>Chironomus plumosus</i> , <i>Choanomphalus rossmaessleri</i>								

Специфичными видами (встречающимися только в одной из водных систем) были: для водной системы «Ручей Черемушный - р. Енисей» -14; для водной системы «Пруды-отстойники – р. Енисей» - 26; для Красноярского водохранилища - 56.

По исследуемым водным объектам от района поступления стоков к участку р. Енисей, ниже впадения устья ручья Черемушного и устья прудов-отстойников и от

Моховского плеса к Приплотинному в Красноярском водохранилище в среднем за весь период исследований отмечено возрастание величин плотности зооперифитона. По числу видов достоверных различий по районам водных систем «Ручей Черемушный – р. Енисей», «Пруды-отстойники – р. Енисей» не зарегистрировано, в Красноярском водохранилище – закономерное увеличение по оси от верхнего района к нижнему (см. табл. 3.2).

Глава 4. Анализ качества вод исследуемых водных объектов по химическим и биологическим показателям

В главе оценивается качество вод по химическим и биологическим показателям. Оценка качества воды проводилась по комплексу химическим показателям (индекс загрязнения воды (ИЗВ), коэффициент комплексности загрязненности воды (К, %), БПК₅, ХПК) и биологическим (биоиндикация – по индексам сапробности и сапротоксности зооперифитона; биотестирование - оценка токсичности по рачковому и парамециальному тестам).

Водная система «Ручей Черемушный – р. Енисей». Химический анализ проведен по 17 химическим ингредиентам. Ко второму классу опасности относились 22% химических веществ, к третьему - 33%, к четвертому - 45% (Перечень..., 1995).

Участок поступления сточных вод алюминиевого производства в ручей Черемушный. Максимальное превышение ПДК было по фторидам в 192 раза. Коэффициент комплексности загрязненности воды составил 69%, III категория, высокий уровень загрязненности по комплексу ингредиентов. ИЗВ равен 28.90 - воды чрезвычайно грязные, 7 класс качества воды.

На участке р. Енисей 500 м выше устья ручья Черемушного. Максимальные превышения ПДК по содержанию меди и цинка в 3 раза, по нефтепродуктам в 2 раза. Коэффициент комплексности загрязненности воды был равен 50%, III категория, высокий уровень загрязненности по комплексу ингредиентов. ИЗВ равен 1.62, воды умеренно загрязненные, 3 класс качества.

На участке р. Енисей 500 м ниже впадения ручья Черемушного. Максимальное превышение ПДК составило в 9 раз по содержанию фторидов. Коэффициент комплексности загрязненности воды равнялся 50%, III категория, высокий уровень загрязненности по комплексу ингредиентов. ИЗВ составил 2.67 - воды загрязненные 4 класс качества воды.

Большое расхождение в оценках качества вод на участках р. Енисей выше и ниже устья ручья Черемушного вод давали значения БПК₅ и ХПК. Загрязнители различной природы могут повышать (понижать) значение БПК. Низкие значения БПК могут объясняться наличием в воде тяжело окисляющихся («биологически жестких») веществ. ХПК является интегральным (суммарным) и одним из наиболее информативных показателей антропогенного загрязнения вод (Муравьев, 1999; Гусева и др., 2000).

Биоиндикация. На участке поступления сточных вод алюминиевого производства в ручей Черемушный доля видов с известной сапробностью составила 70%, из них: 14% χ -сапробы, 14% σ -сапробы, 29 % β - m -сапробы, 43% α - m -сапробы). Класс качества воды между годами исследований изменился от II класса (в 1999 г.) - вода чистая, S=1.35 балл до IV класса качества - вода загрязненная, S=2.87 баллов (рис. 4.1).

На участке р. Енисей 500 м выше устья ручья Черемушного доля видов с известной сапробностью - 67%, все они являлись α - m -сапробами. Доминировали не-

матоды *Nematoda sp.* ($S_i=2.80$). Воды данного участка по индексу сапробности ($S=2.6$ балла) оценены IV классом – воды загрязненные.

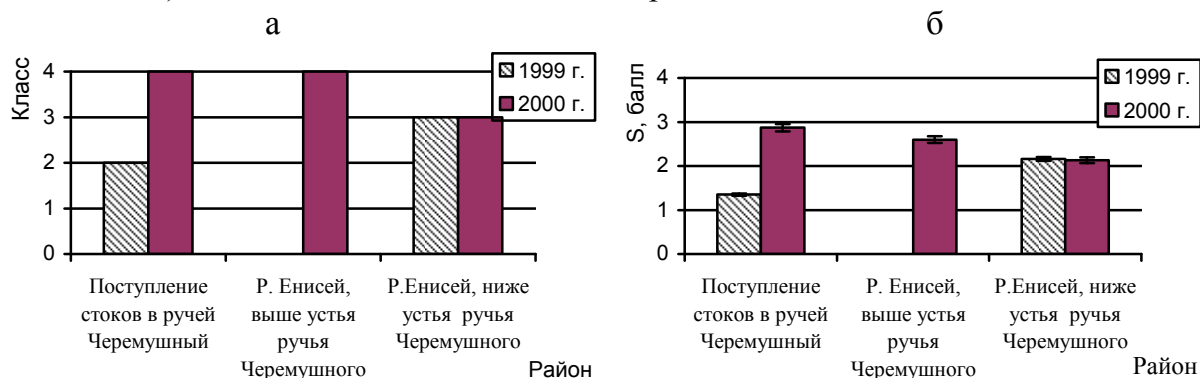


Рисунок 4.1 - Динамика классов качества воды – а, индекса сапробности (S, балл) - б водной системы «Ручей Черемушный – река Енисей», июль 1999-2000 гг.

На участке р. Енисей 500 м ниже устья ручья Черемушного доля видов с известной сапробностью была 67%. Из них 50% - α -сапробы, 50% - β -м-сапробы. Вода по сапробности видов зооперифитона оценивалась как умеренно загрязненная, III класс качества, $S=2.15$ баллов (см. рис. 4.1).

Индивидуальные сапробности некоторых видов (*Dissotrocha macrostila*, $S_i=1.00$, *Philodina acuticornis*, $S_i=0.50$, *Asplanchna priodonta*, $S_i=1.55$), зарегистрированных в пробах района поступления стоков алюминиевого производства в ручей Черемушный, где вода оценена по химическим показателям как чрезвычайно грязная, 7 класс качества, давали не объективную (II класс качества) оценку качества воды данного района по индексу сапробности. Аналогичная ситуация наблюдалась при индикации качества речной воды с помощью коловороток на отдельных участках рек Ленинградской (Вуокса, Луга, Ижора), Калининградской (Преголя) и Московской (Москва-река) областей (Кутикова, 1976).

Биотестирование. Тест-объект *Ceriodaphnia affinis*. За исследуемый период времени воды не оказывали острого токсического воздействия на *C. affinis*. Выживаемость рачков составляла 90-100% при пороге токсичности 50%.

На участке поступления сточных вод алюминиевого производства в ручей Черемушный тестируемые воды в длительном хроническом опыте вызывали токсический эффект на уровне стимуляции темпа отрождения молоди рачка опыт (10.00 ± 0.80 экз.) контроль (6.40 ± 0.50 экз.) ($p < 0.05$). Токсичность снималась 8-кратным разбавлением вод из ручья, воды среднетоксичные.

На участке р. Енисей 500 м выше устья ручья Черемушного токсические эффекты от тестируемой воды были аналогичны участку поступления вод в ручей, Уровень биологически безопасного разбавления 50 раз.

Вода р. Енисей 500 м ниже впадения ручья Черемушного не оказывала негативного воздействия на рачка *C. affinis* за весь период исследований.

В целом по водной системе «Ручей Черемушный – р. Енисей» в хронических экспериментах токсичность регистрировалась в 60% на первом поколении рачков, 20% - на втором и на третьем. Во временном и пространственном аспектах проявление эффекта токсичности не стабильно, что информирует о больших вариациях качества воды.

Тест-объект *Paramecium caudatum*. Воды ручья Черемушного и прилегающего района р. Енисей тестировались на приборе "Биотестер-2", регистрировался уровень выхода пармелей в тестируемые слои $J_i \pm m_i$, усл. ед.

На участке поступления сточных вод алюминиевого производства в ручей Черемушный неразбавленная вода ингибировала выход *P. caudatum* в тестируемые слои - $J_0=49.48\pm 3.47$, контроль $J_k=118.70 \pm 4.03$ усл. ед. ($p<0.05$), индекс токсичности $T_i=0.58$, умеренная степень токсичности. Разбавление в 8 раз нормализовало движение инфузорий до контрольного уровня.

Неразбавленные воды р. Енисей 500 м выше устья ручья Черемушного ингибировали двигательную активность инфузорий ($J_0=1.13\pm 0.41$ усл. ед., $J_k=61.33\pm 2.83$ усл. ед.). По индексу токсичности вод ($T_i=0.45- 0.98$) тестируемая вода оценена как умеренно токсичная - высокотоксичная. Уровень биологически безопасного разбавления 50 раз.

Тестируемые воды р. Енисей 500 м ниже устья ручья Черемушного вызывали токсическое воздействие на уровне ингибирования движения парамеций. Индекс токсичности равнялся 0.94 - высокая степень токсичности. УББР вод данного участка равнялся 4 раза.

В целом по рачковому и парамециному тестам оценки токсичности вод совпадали в районе поступления сточных вод алюминиевого производства - воды токсичные. Оценки степени токсичности вод районов р. Енисей прилежащих к устью ручья Черемушного по тест-объектам не совпадали: по оценкам тест-объекта *S. affinis* воды нетоксичны, по *P. caudatum* - токсичны.

Водная система «Пруды-отстойники – р. Енисей». Химический анализ проведен по 15 химическим ингредиентам. Ко второму классу опасности относились 12.5% химических веществ, к третьему – 37.5%, к четвертому - 50% (Перечень..., 1995).

Участок поступления сточных вод в пруды-отстойники. Максимальное превышение ПДК было по содержанию железа - в 10 раз. Коэффициент комплексности загрязненности воды равен 56% - это III категория, высокий уровень загрязненности по комплексу ингредиентов. ИЗВ=4.24 - воды грязные, 5 класс качества воды. По значениям БПК₅ =1.44 мгО₂/л – воды чистые, по значениям ХПК=3.00 мгО₂/л – воды грязные.

Устье прудов-отстойников. Максимальное превышение ПДК по железу - в 3 раза. Коэффициент комплексности загрязненности воды равен 13% - II категория, высокий уровень загрязненности по нескольким ингредиентам. ИЗВ равен 1.06 - воды умеренно загрязненные, 3 класс качества воды. По значениям БПК₅ и ХПК – воды чистые.

Участок р. Енисей 500 м выше устья прудов-отстойников. Максимальное превышение ПДК у нефтепродуктов - в 9, цинка - в 7, меди – в 3, железа - в 2. Коэффициент комплексности загрязненности воды равен 40% - II категория воды, высокий уровень загрязненности по нескольким ингредиентам. ИЗВ составлял 2.20 - воды загрязненные, 4 класс качества воды. По значениям БПК₅ – воды чистые, по значениям ХПК – воды грязные.

Участок р. Енисей 500 м ниже устья прудов-отстойников. Максимальное превышение ПДК меди в 5 раз, железа и цинка – в 3. Коэффициент комплексности загрязненности воды равен 33% - II категория воды, высокий уровень загрязненности по нескольким ингредиентам. ИЗВ равнялся 1.49 воды умеренно загрязненные, 3 класс качества воды.

Биоиндикация. Качество вод в оценках по индексу сапробности водной системы «Пруды-отстойники – река Енисей».

На участке поступления сточных вод в пруды-отстойники количество видов

сапробионтов соответствовало 50%, среди которых 6% - χ -сапробные виды, 56% составляли о-сапробные виды, по 19% - β -м- и α -м-сапробные организмы. Вода оценена II классом качества ($S=1.33$), о-сапробная зона, вода чистая, что обусловлено высокой долей о-сапробных видов-зооперифитонтов.

В районе устья прудов-отстойников доля видов с известной сапробностью составила 48%, в том числе: 7% - χ -сапробы, 43% - о-сапробы, 29% - β -м-сапробы и 21% - α -м-сапробные виды. Вода соответствовала III классу качества ($S=1.97$), β -м-сапробная зона, вода умеренно-загрязненная (см. рис. 4.2).

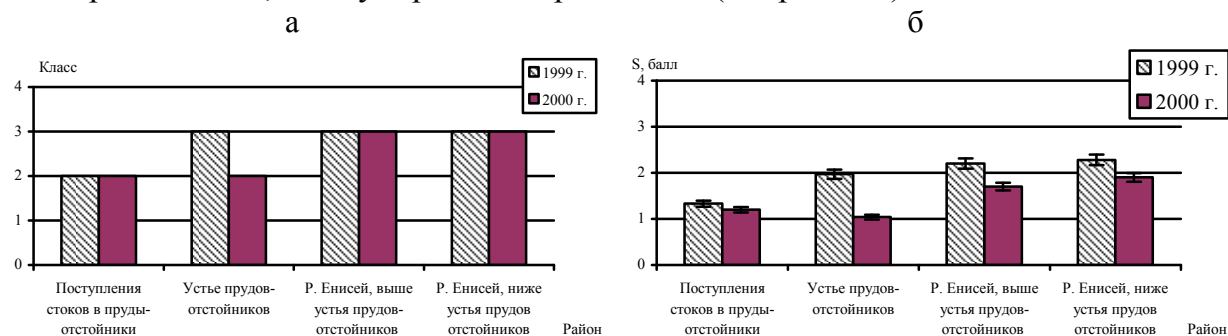


Рисунок 4.2 - Динамика классов качества воды – а, индекса сапробности (S, балл) - б водной системы «Пруды-отстойники – река Енисей»

В районе р. Енисей 500 м выше устья прудов-отстойников доля видов с известной сапробностью составляла 65 % среди них 10% - χ -сапробные, 30% - о-сапробные, 20% - β -м-сапробные организмы, 40% - α -м-сапробные.

Качество воды оценивалось III классом ($S=2.20$), β -м-сапробная зона, вода умеренно-загрязненная.

В районе р. Енисей 500 м ниже устья прудов-отстойников доля видов с известной сапробностью 30%, среди которых доля о-сапробов составила 67%, α -м-сапробы - 22%, β -м-сапробы - 11 %. Вода оценивалась III классом качества ($S=2.28$), соответствовала β -м-сапробной зоне, вода умеренно-загрязненная.

Биотестирование. В острых (краткосрочных) экспериментах с водами прудов-отстойников фармацевтического производства и прилежащих районов р. Енисей за исследуемый период времени выживаемость рачков составляла 90-100% при пороге токсичности 50%. Воды не оказывали острого токсического воздействия на *Ceriodaphnia affinis*.

Хронические (до 7 сут.) эксперименты. Воды района поступления сточных вод в пруды-отстойники вызывали стимуляцию в темпе отрождения молоди (опыт - 5.8 ± 0.5 экз., Контроль 1.3 ± 0.4 экз.) ($p < 0.05$). Токсичность проявилась по второму показателю – выживаемости рачков, которая составила 80%, порог токсичности – 20% достигнут: вода токсична по двум показателям. УББР 20 раз, воды среднетоксичные.

Воды района устья прудов-отстойников вызывали хронический токсический эффект на первом поколении по показателю выживаемость – летальность 60% УББР 20 раз, воды среднетоксичные.

Воды р. Енисей 500 м выше устья прудов-отстойников вызывали летальный исход в первом поколении рачков у 20% тест-объектов – воды токсичные. УББР - 20 раз, вода среднетоксичная.

Воды р. Енисей 500 м ниже устья прудов-отстойников вызывали токсический эффект у рачков первом поколении по показателю выживаемости. Выживаемость 80 %. УББР 20 раз. Воды среднетоксичные.

По результатам биотестирования с тест-объектом *Ceriodaphnia affinis* вод прудов-отстойников фармацевтического производства и прилегающих участков р. Енисей при длительном воздействии токсический эффект проявлялся:

- по выживаемости рачков (критерий токсичности - 20%): а) в первом поколении - в 95% случаев; б) во втором поколении - в 5% случаев;
- ингибирование темпа отрождения молоди рачков в первом поколении проявилось в 75% случаев; стимулирование - в 25% случаев.

Тест-объект *Paramecium caudatum*. С тест-объектом *P. caudatum* воды прудов-отстойников фармацевтического производства и прилежащих районов р. Енисей тестировались совместно с Шадриным И.А. (Гольд, Морозова и др., 2000, 2004; Шадрин, 2004).

Воды района поступления сточных вод в пруды-отстойники ингибировали двигательные реакции парameций ($J_k=123.00\pm 6.07$, $J_o=2.80\pm 0.57$ усл. ед.), по коэффициенту токсичности ($Ti=0.96$) воды оценивались как высокотоксичные. УББР - 20 раз.

Воды устья прудов-отстойников в р. Енисей ингибировали двигательные реакции парameций ($J_k=146.00\pm 4.51$, $J_o=6.60\pm 1.07$ усл. ед.), индекс токсичности равен 0.95 воды оценивались как высоко токсичные. УББР - 100 раз.

Воды р. Енисей 500 м выше устья прудов-отстойников ингибировали двигательные реакции парameций ($J_k=146.00\pm 4.51$, $J_o=11.80\pm 1.76$), по коэффициенту токсичности ($Ti=0.92$) оценивались как высокотоксичные, УББР - 200 раз.

Воды р. Енисей 500 м ниже устья прудов-отстойников ингибировали двигательные реакции парameций ($J_k=171.00\pm 3.90$, $J_o=45.00\pm 2.92$), воды оценивались как высоко токсичные ($Ti=0.74$). УББР 6 раз.

Таким образом, неразбавленные воды всех анализируемых районов, оценивались в основном на уровне высокой токсичности, ингибирующие двигательные реакции парameций. Уровни биологически безопасного разбавления вод прудов-отстойников определены в пределах 4-200-кратных разбавлений вод.

В целом, по рачковому и парameцийному тестам оценки токсичности имели большее совпадение в 1999 г., общая по двум тест-объектам тенденция изменений оценок токсичности сохранилась и в 2000 г. Также как и в на водной системе «Ручей Черемушный – река Енисей» более строгие оценки были получены по парameцийному тесту.

По рачковому и парameцийному тестам воды водной системы «Пруды-отстойники – р. Енисей» оценены как средне- и высокотоксичные

Красноярское водохранилище. Химический анализ проведен по 12 химическим ингредиентам, определенным в пробах, отобранных в августе 2005 г. по всей акватории Красноярского водохранилища. Ко второму классу опасности относились 20% химических веществ, к третьему - 80% (Перечень..., 1995). Анализ химического режима в межгодовом аспекте с 1982 г. по 2002 г. представлен в Монографии Красноярское водохранилище ..., 2008.

Верхний район (Усть-Абакансий, Моховский, Красноткранный плесы). Максимальные превышения ПДК отмечались по содержанию меди в 5 раз. Коэффициент комплексности загрязненности воды варьировал от 25% до 50% (II-III категория, высокий уровень загрязненности по комплексу ингредиентов). ИЗВ варьировал от 1.48 - воды умеренно загрязненные, 3 класс качества воды до 2.25 – воды загрязненные, 4 класс качества. По значениям БПК₅ (0.16-1.49 мг/л) – воды очень чистые – чистые.

Средний район (Новоселовский, Приморский плесы). Максимальные превышения ПДК отмечались по содержанию меди и цинка в 12 раз. Коэффициент комплексности загрязненности воды равнялся 50% - III категория, высокий уровень загрязненности по комплексу ингредиентов. ИЗВ составлял 2.64- 4.17 воды загрязненные - грязные, 4-5 класс качества воды. По значениям БПК₅ (0.50-1.93) – воды очень чистые.

Нижний район (Щетинкинский, Приплотинный плесы). Максимальные превышения ПДК отмечались по содержанию меди в 9 раз. Коэффициент комплексности загрязненности воды варьировал на уровне 50-63% - III категория, высокий уровень загрязненности по комплексу ингредиентов. ИЗВ на уровне 2.72-3.01 - воды загрязненные, 4 класс качества воды. По значениям БПК₅ (2.01 мг/л) воды чистые - умеренно загрязненные.

Максимально неблагоприятная ситуация по химическому составу зарегистрирована в среднем районе на Приморском плесе.

Биоиндикация. Верхний район. Доля видов с известной сапробностью варьировала на уровне 60-80 %, в том числе 12% α -сапробы, 88% β - m -сапробы. Вода соответствовала III классу качества ($S=1.80-2.45$), β - m -сапробная зона, вода умеренно-загрязненная (рис. 4.3).

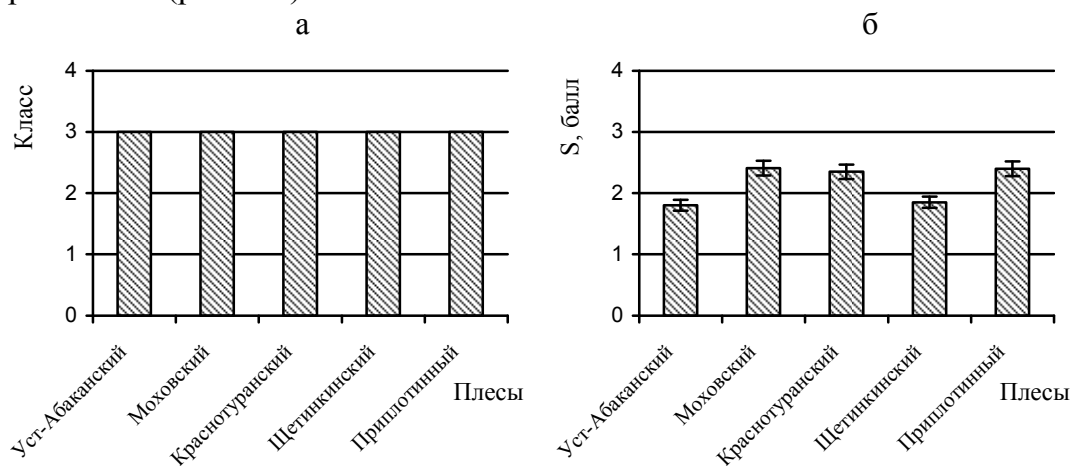


Рисунок 4.3 Динамика классов качества воды – а, индекса сапробности (S, балл) - б по акватории Красноярского водохранилища, август, 2005 г.

Средний район. Число видов сапробионтов было менее 30 % поэтому индекс сапробности не рассчитывался.

Нижний район. Доля видов зооперифитона с известными сапробностями составляла 75-100%, все они являлись β - m -сапробами. Вода соответствовала III классу качества ($S=1.85-2.40$), β - m -сапробная зона, вода умеренно-загрязненная. (см. рис. 4.3).

Биотестирование. На всех исследуемых плесах Красноярского водохранилища в острых (красткосрочных) экспериментах токсичность по тест-объекту *C. affinis* не зарегистрирована (выживаемость варьировала на уровне 60-100%, 50% порог летального исхода не достигнут).

В хронических экспериментах с водами Верхнего района водохранилища токсичность зарегистрирована по показателю выживаемость: 60-80%, порог 20%-ной гибели превышен.

Средний район. Токсический эффект проявился в ингибировании темпа отрождения молоди рачков контроль - 4.50 ± 0.48 экз., опыт - 1.90 ± 0.35 экз. ($p < 0.05$).

Нижний район. Воды плесов нижнего района не выявили токсичности ни в выживаемости, ни в темпе отрождения молоди, для рачков они нетоксичны.

Тест-объект *Paramecium caudatum*. Верхний район. Тестируемые воды ингибировали активность перемещения парамеций, по коэффициенту токсичности ($T_i=0.47$) токсичность умеренная, УББР 10 раз.

Средний район. В тестируемых водах токсичность проявлялась в ингибировании активности *P. caudatum* ($J_k=74.67\pm 3.39$ усл. ед., $J_0=15.27\pm 2.06$ усл. ед.), степень токсичности высокая ($T_i=0.80$), токсичность снималась разбавлением опытной воды в 8 раз.

Нижний район. В экспериментах с водой плесов нижнего района достоверных отличий в активности перемещения парамеций в контрольных и опытных вариантах не зарегистрировано, коэффициент токсичности варьировал в пределах 0.04-0.07 (токсичность допустимая).

Сравнительный анализ качества вод исследуемых водных объектов (табл. 4.4). В водных системах, принимающих стоки алюминиевого и фармацевтического производств, по данным анализа химических ингредиентов, по оценке токсических эффектов у рачкового и парамецийного тестов, сапротоксобному анализу, рассчитанному по величинам индивидуальных сапротоксобностей, наблюдалось улучшение качества вод от района поступления стоков к участку р. Енисей ниже впадения устья ручья Черемушного и устья прудов-отстойников. Индекс сапробности давал заниженные выровненные оценки по большинству районов исследуемых водных систем, на уровне III класса, воды умеренно загрязненные. II класс качества вод был в районе поступления сточных вод фармацевтического производства.

Таблица 4.4 - Оценка качества вод водных объектов бассейна р.Енисей по индексу загрязнения вод (ИЗВ), коэффициенту комплексности загрязненности воды (К, %), индексу сапробности (S, балл), индексу сапротоксобности (St, балл), токсичность вод по реакциям тест-объектов *Ceriodaphnia affinis*, *Paramecium caudatum*, кк- класс качества воды

Показатель	Ручей Черемушный - р. Енисей		Пруды-отстойники - р. Енисей		Красноярское водохранилище	
	Поступление стоков	р. Енисей ниже устья ручья	Поступление стоков	р. Енисей ниже устья прудов-отстойников	Моховский плес	Приплотинный плес
ИЗВ кк	28.70±0.19 VII	1.79±0.88 IV	3.15±1.10 IV-V	1.49±0.01 III	1.65 III	2.72 IV
К, % категория	47.00±22.00 II-III	40.50±9.50 II-III	47.00±9.00 II-III	30.00±3.00 II	50 III	63 III
<i>C. affinis</i> , токсичность	токс.	нетокс.	малотокс. – среднетокс.	нетокс. - среднетокс.	токс. -	нетокс.
<i>P. caudatum</i> , T_i , усл. ед. токсичность	0.31±0.27 допуст.	0.76±0.19 высокая	0.97±0.02 высокая	0.58±0.17 умерен.	0.26 допуст.	0.07 допуст.
S, кк	2.23±0.34 III	2.31±0.13 III	1.27±0.07 II	2.09±0.19 III	2.41 III	2.40 III
St кк	3.35±0.10 V	2.95±0.10 IV	3.53±0.03 V	2.78±0.01 IV	3.45 V	2.68 IV

В Красноярском водохранилище оценки качества вод по химическим и биологическим показателям существенно варьировали и не имели определенной направленности.

Реакции зооперифитонтов на сапробные и токсобные воздействия оценены по величинам индексов сапротоксобности. Индивидуальная сапротоксобность видов установлена заново у 15% видов зооперифитонтов, более высокие величины, по

сравнению с индивидуальной сапробностью, присвоены 56% видов, величины сапротоксобиности и сапробности совпадают у 29% видов. Индекс сапротоксобиности (St) по анализируемым водным системам варьировал в пределах: водная система «Ручей Черемушный-р. Енисей» 2.95-3.35, IV-V класс качества вод, воды загрязненные – грязные; водная система «Пруды отстойники – р. Енисей» - St=2.78-3.53 IV-V класс качества вод, воды загрязненные – грязные; Красноярское водохранилище - St=2.68-3.45 IV-V класс качества вод, воды загрязненные – грязные (см. табл. 4.4).

Выводы

1. В составе зооперифитона трех разнотипных водных объектов бассейна р. Енисей зарегистрировано 139 видов и таксонов более высокого ранга. Доля зоопланктона составила по 15% (от общего числа видов) в водных системах «Ручей Черемушный – р. Енисей», «Пруды-отстойники – р. Енисей», 32% - в Красноярском водохранилище; бентосных форм – 47%, 37%, 40% соответственно.

2. Общее количество видов зооперифитона в исследуемых водных объектах возрастало по мере снижения скорости течения вод: 47 видов в водной системе «Ручей Черемушный – р. Енисей» (1998-2000 гг.) с доминированием по числу видов Rotatoria и Chironomidae; 62 вида в водной системе «Пруды-отстойники – р. Енисей» (1998-2000 гг.) с доминированием Rotatoria; 82 вида в Красноярском водохранилище (2000-2005 гг.) с доминированием Rotatoria и Chironomidae. В составе зооперифитона всех исследуемых водных объектов обнаружено 13 общих видов.

3. В изученных водных объектах выявлены специфичные для них виды: в ручье Черемушном - *Dissotrocha macrostyla*, Ehrenberg, в прудах-отстойниках - *Habrotrocha bidens* Gosse, в Красноярском водохранилище – *Synorthocladus semivirens* Kieffer, виды р. *Dicranophorus*, р. *Keratella*.

4. Среднегодовые величины численности и биомассы по исследованным водным объектам возрастали от районов поступления загрязненных вод ($N=4.6-47.9$, тыс. экз./м², $V=0.85-1.5$ г/м²) к ниже расположенным (устье, река Енисей, Плотина) ($N=12.5-75.6$, тыс. экз./м², $V=14.2-20.1$ г/м²).

5. Оценки качества вод по химическим показателям (индекс загрязнения вод, коэффициент комплексности загрязненности вод) и эффектам токсичности, оцененным по реакциям *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg и *Paramecium caudatum* Ehrenberg, определили улучшение качества вод от районов поступления сточных вод к районам реки Енисей ниже устья ручья Черемушного и устья прудов-отстойников. В Красноярском водохранилище оценки качества вод в пространственной динамике по оси от верхнего района к нижнему не имели определенной направленности.

6. По индексам сапробности, учитывающим уровень органического загрязнения, оценки качества воды по исследованным районам водных объектов бассейна р. Енисей варьировали на уровне II-III классов, вода чистая – умеренно загрязненная. По индексам сапротоксобиности, рассчитанным по региональным величинам индивидуальной сапротоксобиности зооперифитонтов, учитывающих сапробность и токсобиность вод, получены оценки худшего качества: воды грязные, V класс (районы поступления загрязненных вод), воды загрязненные, IV класс (р. Енисей, Приплотинный район).

Публикации по теме диссертации

1. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Шулепина С.П., Шадрин И.А. Классификация качества вод по химическим и биологическим показателям (на примере водной системы "Ручей Черемушный - река Енисей") // Водные ресурсы. 2003. Т. 30, № 3. С. 335-345.
2. Гольд З. Г., Чупров С.М., Гольд В.М., Сапожников В.А., Глущенко Л. А., Морозова И. И., Кожевникова Н. А., Попельницкий В.А., Шапошников А.В. Экологический мониторинг Красноярского водохранилища (принципы, этапы организации, схема, модель) // Вестник Красноярского государственного университета, Естественные науки, №5. Красноярск, изд-во КрасГУ, 2003. -С. 69-78.
3. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Шулепина С.П., Шадрин И.А., Глазков А.Е. Качество воды реки Кача по биологическим (перифитон, макрозообентос, биотестирование) и химическим дескрипторам // Вестник Красноярского государственного университета «Биологическая серия», 2005, Вып. 3. С. 137-146.
4. Дубовская О.П., Гладышев М.И., Есимбекова Е.Н., Морозова И.И., Гольд З.Г., Махутова О.Н. Изучение связи сезонной динамики естественной смертности зоопланктона в водоеме с изменением токсичности воды // Биология внутренних вод, 2002, №3, -С.39-43.
5. Морозова И.И. Зооперифитон // Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод. – Красноярск: Изд-во СФУ, 2008. – С. 302-314.
6. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И. Оценка токсичности вод Красноярского водохранилища по биотестам // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири, Красноярск: КНИИГиМС, 2000. -С.64-68.
7. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Шадрин И.А. Оценка токсичности природных вод пруда Бугач (бассейн р. Енисей) по биотестам // Токсикологический вестник, -М., 2000. -№5. -С.28-33.
8. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Шулепина С.П., Шадрин И.А. Анализ качества воды водной системы "ручей Черемушный - река Енисей" по унифицированному классификатору химических и биологических дескрипторов // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири. Красноярск: КНИИГиМС, 2001. -С.85-96.
9. Морозова И.И. Видовая структура зооперифитона, как дескриптор качества воды ручья Черемушного и прилегающего участка р. Енисей // Проблемы экологии и развития городов. Сборник статей по материалам 2-й Всероссийской научно-практической конференции. - Том II - Красноярск: Сиб ГТУ, 2001. С. 110-114.
10. Гольд З.Г., Морозова И.И., Глущенко Л.А., Шулепина С.П., Шадрин И.А. Комплексная оценка качества воды и состояния водных экосистем по результатам биоиндикации и биотестирования на региональной основе // Биотехнология - охране окружающей среды. Труды Международного биотехнологического центра МГУ, М.: Изд-во "Спорт и культура", 2004. -С. 42-47.
11. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Шулепина С.П., Шадрин И.А. Биологические приемы оценки качества вод в разработках нормативов предельно допустимых вредных воздействий // Биотехнология, экология, охрана окружающей среды. Сборник научных трудов, М.: Изд-во ООО "Графикон-принт", 2005. - С. 27-35.
12. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Шулепина С.П. Сравнительный анализ качества воды Красноярского водохранилища по химическим и биологическим показателям // Естествознание и гуманизм, сб. науч. работ, т.3., №1. Томск,

2006. –С. 102-105.

13. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Беляева А.М. Сравнительный анализ информативности биологических (биоиндикация, биотестирование) и химических показателей в оценке качества воды в пелагиали Красноярского водохранилища // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. Сб. материалов междунар. конф. С-Пб.: ЛЕМА, 2007. С. 36-42.

14. Морозова И.И., Еникеев Г.А., Еникеева И.Г. Зоопланктон // Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод. –Красноярск: Изд-во СФУ, 2008. –С. 137-162.

Подписано в печать 23.12.2010
Формат 60x84/16. Уч.-изд. л. 1,3
Тираж 100 экз. Заказ № 2899

Отпечатано:
Полиграфический центр Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а