

На правах рукописи



ГЛУЩЕНКО ЛАРИСА АЛЕКСАНДРОВНА

**СТРУКТУРА ФИТОПЕРИФИТОНА В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ
РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА РЕКИ ЕНИСЕЙ**

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
Дрюккер Валентин Валерьянович

доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник
Комулайнен Сергей Федорович

Ведущая организация

Казанский (Приволжский) федеральный университет (г. Казань)

Защита состоится 27 января 2011 г. в 10 часов на заседании объединенного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций ДМ 212.099.15 при Сибирском федеральном университете по адресу: 660041, г. Красноярск, проспект Свободный, 79, аудитория Р 8-06, тел./факс: (391)2469947, e-mail: nikgna@gmail.com

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского федерального университета

Автореферат разослан 23 декабря 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук



Н.А.Гаевский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из фундаментальных задач водной экологии является изучение закономерностей формирования и функционирования сообществ в разнотипных водных экосистемах под влиянием природных и антропогенных факторов. При разработке системы биоиндикации и классификации сообществ водоемов необходимо четко разделять как естественную пространственную мозаичность структуры биоценоза, так и ее флуктуации при антропогенном воздействии (Комулайнен, 2004). В познании закономерностей процессов, протекающих в водных экосистемах, наибольшую значимость приобретает литоральная зона, основным компонентом которой является фитоперифитон. Водоросли перифитона, наряду с планктонными, являются главными источниками органического вещества, а в некоторых водоемах и водотоках продуктивность водорослей обрастаний нередко выше, чем фитопланктона (Ассман, 1953; Алимов, Никулина, 1974; Wetzel, 1983; Протасов, 1994). Фитоперифитон служит чувствительным биоиндикатором изменений окружающей среды (Никулина, 1976; Komulaynen, 2002; Whitton et al., 1991a,b) и может быть использован при проведении регионального экологического мониторинга. Для этого необходимы данные не только о видовом составе водорослей, но и об особенностях структуры сообществ фитоперифитона, сезонных и межгодовых колебаниях его численности и биомассы, которые позволят выявить изменения, происходящие в условиях возрастающей антропогенной нагрузки.

Несмотря на достаточно хорошую изученность биоты водных объектов бассейна р. Енисей, фитоперифитон водоемов и водотоков этого бассейна до сих пор недостаточно исследован. Поэтому изучение фитоперифитона водных объектов с различным уровнем и характером антропогенного воздействия имеет не только практическое значение, но и внесет определенный вклад в понимание закономерностей функционирования водных экосистем различных типов.

В работе исследован литоральный фитоперифитон с галечно-каменистого субстрата (эпилитон).

Исследования проводили на разнотипных водных системах, различающихся по степени и характеру антропогенного воздействия:

- Красноярское водохранилище (водоем лимнического типа), принимающее рассеянные стоки с водосборной площади;

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

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

Цель работы: изучить пространственно-временную динамику структуры фитоперифитона разнотипных водных систем бассейна р. Енисей, различающихся по антропогенному воздействию, и оценить их состояние с применением некоторых методов и подходов определения качества воды.

В работе решали следующие задачи:

1. Изучить таксономический состав и выделить группы доминирующих видов фитоперифитона разнотипных водных систем бассейна р. Енисей.

2. Провести сравнительный анализ видовой разнообразия фитоперифитона исследуемых водных систем.

3. Изучить пространственно-временную динамику структурных (видовое разнообразие, численность, биомасса) показателей фитоперифитона исследуемых водных систем.

4. Определить токсичность вод исследуемых водных систем бассейна р. Енисей с использованием альгологического теста.

5. Оценить качество вод исследуемых водных систем по сообществам фитоперифитона.

6. Оценить влияние на структурные показатели фитоперифитона некоторых абиотических факторов среды.

Положения, выносимые на защиту:

1. Исследованные водные системы бассейна р. Енисей характеризуются отличающимся видовым разнообразием, что отражается в специфических наборах доминирующих видов, а также разными уровнями средних значений численности и биомассы фитоперифитона.

2. Плотность и видовая структура фитоперифитона в каждой из систем статистически достоверно различается в зависимости от времени и от места отбора проб; пространственные различия были более выраженными.

3. Использование средних значений индексов сапробности, рассчитанных по сообществам литорального фитоперифитона изученных разнотипных систем в целом, дает выровненные оценки качества воды (на уровне III класса).

4. Индексы сапробности, рассчитанные для отдельных станций (районов) внутри каждой из водных систем, выявили пространственную неоднородность систем, связанную с точечным антропогенным влиянием. Доказано, что исследуемые водные объекты не оказывают негативного влияния на качество вод р. Енисей.

Научная новизна. Впервые для водных объектов: пруды-отстойники АО «Красфарма», ручей Черемушный, Красноярское водохранилище на 30-35 годы функционирования, определен таксономический состав и изучены количественные характеристики сообществ фитоперифитона. Выявлена специфическая пространственно-временная динамика структурных показателей (видовое разнообразие, численность, биомасса, состав доминирующих видов и т.д.). Показана пространственная неоднородность структуры фитоперифитона в связи с антропогенным воздействием. Впервые оценено качество воды исследуемых водных систем бассейна р. Енисей по токсичности с использованием альгологического теста, по индексу загрязнения вод (химический дескриптор), по индексу сапробности сообществ фитоперифитона, по трофическому диатомовому индексу.

Практическая значимость. Полученные данные по структуре и плотности фитоперифитона, токсичности и взаимосвязи показателей в биоиндикации и биотестировании могут быть использованы в комплексной оценке качества воды водных объектов бассейна Енисея. Результаты включены в информационную модель Красноярского водохранилища и могут быть использованы при организации экологического мониторинга водных экосистем бассейна р. Енисей. Данные входят в базу данных «Биота» (Свидетельство об официальной государственной регистрации базы данных № 2003620149, Роспатент РФ). Результаты включены в учебные дисциплины, преподаваемые в Сибирском федеральном университете: «Общая гидробиология», «Санитарная гидробиология», «Основы биоиндикации и биотестирования вод».

Апробация работы. Основные положения и материалы диссертации доложены и обсуждены на VIII съезде ГБО РАН (Калининград, сентябрь 2001г.); XII Конфе-

ренции молодых ученых "Проблемы экологии и биоразнообразия" (Борок, сентябрь 2002 г.); Международном симпозиуме "Перифитон континентальных вод: современное состояние изученности и перспективы дальнейших исследований" (Тюмень, февраль 2003 г.); II Международной научной конференции "Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды" (Минск-Нарочь, сентябрь 2003 г.); VII-й Дальневосточной школе по проблемам химии и биологии (Владивосток, МЭС ТИБОХ, сентябрь 2003 г.); IX съезде ГБО РАН (Тольятти, сентябрь 2006 г.); Международной научно-практической конференции «Перифитон и обрастания: теория и практика» (Санкт-Петербург, октябрь 2008 г.); X съезде ГБО РАН (Владивосток, сентябрь-октябрь 2009 г.).

Исследования выполнены при поддержке гранта Министерства образования РФ и Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF, грант № REC-002, программа "Фундаментальные исследования и высшее образование"); программы Министерства образования и науки РФ "Фундаментальные исследования в области естественных наук"; гранта № 1M0001 совместного конкурса НОЦ "Енисей" и Красноярского краевого фонда науки.

Личный вклад. Автор непосредственно принимал участие в полевых работах, камеральной обработке проб, внесении материалов в базу данных «Биота», статистической обработке материала и проведении активных экспериментов по оценке токсичности вод с использованием альгологического теста.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 2 работы в ведущих рецензируемых научных журналах (из перечня ВАК), глава в коллективной монографии.

Структура диссертационной работы. Диссертация изложена на 204 страницах и состоит из введения, 4 глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа иллюстрирована 52 рисунками, 61 таблицей. Список литературы включает 192 отечественных и 64 иностранных источника.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Роль фитоперифитона в оценке качества воды (обзор литературы)

В главе обсуждено понятие «перифитон» и «фитоперифитон», его структура и разнообразие. Рассматривается роль водорослей в определении состояния водных экосистем методами биоиндикации (по структуре сообществ, по индикаторным организмам, по функциональным показателям природных сообществ) и биотестирования (по реакциям тест-организмов на степень токсичности воды в лабораторных условиях).

Глава 2. Объекты и методы исследований

Данные о гидробиологическом состоянии исследуемых водных объектов получены в ходе натурных экспериментов в 1998-2005 гг. Химический состав вод предоставлен Центром лабораторного анализа и технических измерений по Красноярскому краю, лабораторией Центра коллективного пользования приборами СФУ, химической лабораторией Института биофизики Сибирского отделения РАН. Станции отбора проб намечены в соответствии с "Правилами контроля качества воды водоемов и водотоков" (ГОСТ 17.1.3.07-82).

Красноярское водохранилище. Второе каскадное водохранилище в верхнем течении Енисея. В период августа 2000-2002, 2005 гг. на Усть-Абаканском, Моховском, Краснотуранском, Новоселовском, Приморском, Щетинкинском и Приплю-

тинном плесах отобрано 126 проб фитоперифитона, проведено 32 эксперимента по определению токсичности вод с использованием альгологического теста.

Пруды-отстойники АО "Красфарма" и прилегающий участок р. Енисей. Протяженность прудов до впадения в р.Енисей - 3 км, глубины от 0.5 м до 2.5 м. За период исследований (1998-2000 гг.) отобрано 96 проб фитоперифитона на четырех участках: 1 – поступление сточных вод в систему прудов; 2 - выход вод из прудов в р.Енисей; 3 и 4 - р. Енисей 500 м выше и ниже устья прудов. Проведено 47 экспериментов по определению токсичности вод с использованием альгологического теста.

Ручей Черемушный и прилегающий участок р. Енисей. Протяженность ручья - 14 км, глубины от 0.5 м до 2 м; скорость течения от 0.3 м/с до 0.7 м/с. За период исследований (1998-2000 гг.) отобрано 96 проб фитоперифитона на шести участках: 1 - выше поступления сточных вод алюминиевого производства; 2 - поступления сточных вод; 3 – ниже поступления сточных вод; 4 - устье ручья Черемушный; 5 и 6 – р. Енисей 500 м выше и ниже устья ручья Черемушный. Проведено 47 экспериментов по определению токсичности вод с использованием альгологического теста.

Сбор и обработка материала осуществлялись по стандартным методикам (Жадин, 1960; Руководство по методам гидробиологического анализа., 1983; Руководство по гидробиологическому мониторингу., 1992). Перифитон отбирали в 3-х повторностях в литорали с галечно-каменистого субстрата с площади 9 см², фиксировали раствором Люголя в модификации Г. В. Кузьмина. Однотипный субстрат выбран для исключения влияния фактора «субстрат» на динамику структуры фитоперифитона. Группу типичных перифитонных водорослей выделяли по их гетерополярности (Девяткин, 1979).

Определение токсичности вод с тест-объектом *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Vreb. проводили в соответствии с РД-118-02-90, ФР.1.39.2001.00284. Показатель токсичности - динамика коэффициента прироста клеток водорослей; критерий токсичности - достоверное отличие коэффициента прироста клеток в тестируемой воде от контроля по критерию Стьюдента. Категории токсичности устанавливали в соответствии с (Жмур, 1997).

Статистическая обработка данных проведена с использованием пакетов программ "Statistica – 6.1" и "Excel" методами корреляционного, дисперсионного одно- и многофакторного анализов; достоверность различий между средними определяли по критериям Стьюдента и Фишера и U-критерию Манна-Уитни (Лакин, 1980; Плохинский, 1970). Видовое разнообразие оценивали по индексу Шеннона (Алимов, 1996). Сравнение списков видов проводили по коэффициенту Серенсена-Чекановского (K_{sc}) с оценкой достоверности различий по критерию Фишера ($F\phi$) (Песенко, 1982; Зайцев, 1984). Качество воды оценивали: по индексу сапробности, рассчитанному методом Пантле и Букка в модификации Дзюбана и Кузнецовой (1981); по трофическому диатомовому индексу - TDI (Kelly, Whitton, 1995). Индивидуальная сапробность взята из таблиц Сладечека (Sladecsek, 1973), Вегла (Wegl, 1983), из Руководства по гидробиологическому мониторингу... (1992); индикаторный вес и чувствительность видов при расчете TDI брали из таблиц (Kelly, Whitton, 1995). Степень загрязнения и классы качества воды определяли в соответствии с ГОСТом 17.1.3.07-82.

Глава 3. Структура фитоперифитона разнотипных водоемов и водотоков бассейна р. Енисей

Видовая структура фитоперифитона. В составе фитоперифитона исследованных водных систем зарегистрировано 113 видов и внутривидовых таксонов водорослей, из них: в Красноярском водохранилище - 88 видов (в том числе диатомовых – 52 вида, зеленых – 25, синезеленых – 9, эвгленовых – 2); в водной системе «пруды АО "Красфарма" - р. Енисей» – 54 вида (в том числе диатомовых – 38, зеленых - 10, синезеленых и эвгленовых - по 3 вида); в водной системе «ручей Черемушный - р. Енисей» - 86 видов (в том числе диатомовых - 50, синезеленых - 9, зеленых - 21, эвгленовых – 5, желтозеленых - 1 вид) (табл. 1).

Таблица 1- Таксономическая структура фитоперифитона исследуемых водных систем бассейна р.Енисей

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид (включая внутривидовые таксоны)
Красноярское водохранилище (август 2000-2002, 2005 гг.)					
Bacillariophyta	2	5	14	26	52
Cyanophyta	2	2	5	7	9
Chlorophyta	5	7	14	19	25
Euglenophyta	1	1	2	2	2
Всего	10	15	35	54	88
пруды АО «Красфарма» - р.Енисей (1998-2000 гг.)					
Bacillariophyta	2	5	12	20	38
Cyanophyta	1	2	2	2	3
Chlorophyta	4	5	8	8	10
Euglenophyta	1	1	1	1	3
Всего	8	13	23	31	54
ручей Черемушный - р.Енисей (1998-2000 гг.)					
Bacillariophyta	2	5	13	26	50
Cyanophyta	2	2	4	5	9
Chlorophyta	5	6	12	13	21
Euglenophyta	1	1	2	2	5
Xanthophyta	1	1	1	1	1
Всего	11	15	32	47	86

Красноярское водохранилище. По числу видов преобладали водоросли отдела Bacillariophyta (52 вида), среди которых по числу родов преобладали семейства Fragilariaceae (5 родов) и Naviculaceae (4 рода), по 2 рода было в семействах Cymbellaceae, Diatomaceae, Achnanthaceae и Surirellaceae, в остальных 6 семействах - по 1 роду. Второе место по числу видов занимал отдел Chlorophyta (25 видов), у которого было выявлено 19 моно- или двувидовых родов, кроме рода *Scenedesmus* – 4 вида. Среди синезеленых водорослей идентифицировано 9 видов из 7 родов и 5 семейств, наибольшая родовая насыщенность у семейства Oscillatoriaceae (3 рода). Списки видов водорослей по годам достоверно отличались между собой (K_{sc} варьировал от 0.41 до 0.67, $p < 0.05$), кроме 2000 и 2001 гг. В пространственном аспекте рассчитанный коэффициент свидетельствует о сходстве сообществ фитоперифитона Усть-Абаканского и Краснотуранского ($K_{sc}=0.73$), Моховского и Приморского ($K_{sc}=0.67$), Новоселовского и Приплотинного плесов ($K_{sc}=0.65$). Наибольшим отличием видового состава характеризуется перифитон Щетинкинского плеса, его кластер на дендрограмме располагается отдельно, различия достоверны ($p < 0.05$) (рис. 1).

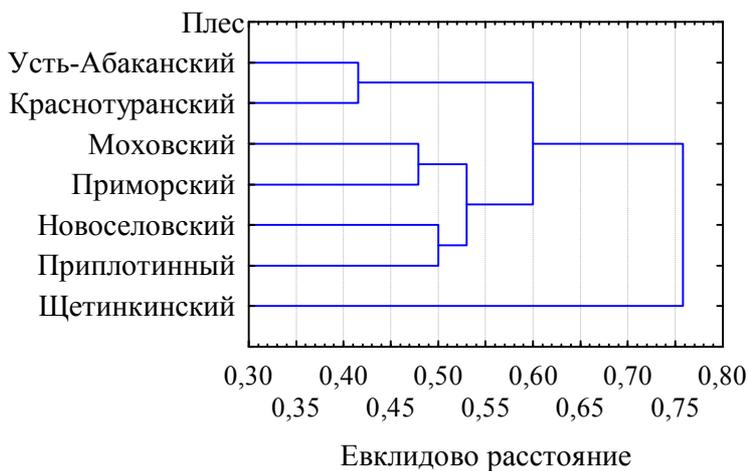


Рис. 1. Дендрограмма сходства видового состава (по плесам) фитоперифитона Красноярского водохранилища по индексу Серенсена-Чекановского (K_{sc}), 2000-2002, 2005 гг.

ском – $H = 3.67 \pm 0.01$ бит, минимальные - в средней части водохранилища на Новоселовском - $H = 1.31 \pm 0.80$ бит. Средние величины индекса Шеннона по результатам двухфакторного дисперсионного анализа различались сильнее по плесам, нежели по годам (рис. 2).

От верховья к низовью водохранилища количество видов фитоперифитона постепенно снижается, а число типичных перифитонных водорослей (гетерополярных рр. *Achnanthes*, *Cymbella*, *Cocconeis*, *Gomphonema* и др., по Девяткину, 1979) остается практически постоянным, что свидетельствует об устойчивости типичных перифитонных водорослей в сообществе. Максимальные значения индекса видового разнообразия Шеннона зафиксированы на Усть-Абаканском плесе - $H = 3.16 \pm 0.49$ бит и на Мохов-

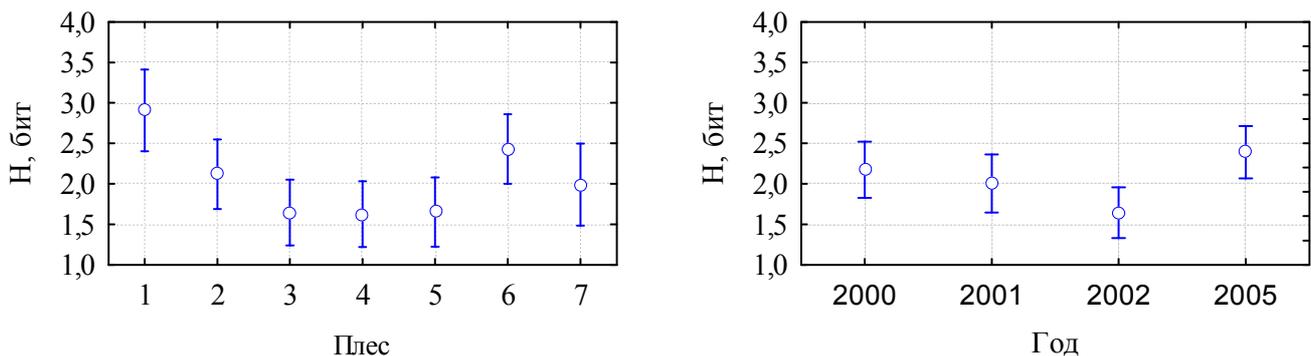


Рис. 2. Средние величины индекса видового разнообразия фитоперифитона (H , бит) по плесам ($F=4.47$, $p=0.001$) и годам ($F=3.95$, $p=0.014$) Красноярского водохранилища (август 2000-2002, 2005 гг.), плесы: 1 - Усть-Абаканский, 2 - Моховский, 3 - Краснотуранский, 4 - Новоселовский, 5 - Щетинкинский, 6 - Приплотинный, 7 - Приморский.

В целом флористический состав перифитона Красноярского водохранилища характеризовался как диатомово-зеленый с присутствием синезеленых и эвгленовых водорослей.

Пруды-отстойники АО "Красфарма" и прилегающий участок р. Енисей. В составе фитоперифитона водной системы «пруды АО «Красфарма» - р.Енисей» было обнаружено 54 вида, что меньше чем в Красноярском водохранилище (см. табл. 1). Ведущую роль в формировании видового богатства играли диатомовые водоросли – 70 % от общего числа (38 видов), основную долю составили пеннатные диатомеи, порядка *Raphales*, по числу родов преобладали семейства *Fragilariaceae* (5 родов) и *Naviculaceae* (3 рода). На втором месте - зеленые водоросли - 18.5 % (10 видов). Среди синезеленых водорослей идентифицировано 3 вида из 2 родов и 2 семейств, таксономическая насыщенность у семейств невысокая: *Oscillatoriaceae* - 2 рода, *Arhanizomenonaceae* - моновидовое. У эвгленовых водорослей обнаружено 3 вида из семейства *Euglenaceae*.

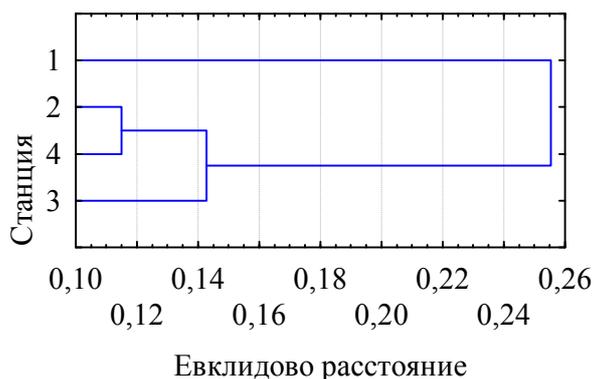


Рис. 3. Дендрограмма сходства видового состава фитоперифитона водной системы "пруды АО «Красфарма»-р.Енисей" по индексу Серенсена-Чекановского (Ksc), 1998-2000 гг.

Общие для всех станций водной системы списки видового состава фитоперифитона в межгодовом и сезонном аспектах сходны, о чем свидетельствует высокий индекс Серенсена-Чекановского ($p > 0.05$). В пространственном плане различия в видовом составе наиболее выражены. Состав фитоперифитона района поступления сточных вод фармацевтического производства в систему прудов (ст.1) достоверно отличался ($p < 0.05$) от фитоперифитона районов выхода из прудов (ст.2) и р. Енисей выше (ст. 3) и ниже (ст. 4) выхода вод из системы прудов-отстойников. Кла-

стеризация индексов сходства позволила выделить две основные группы фитоперифитона (рис. 3), одна из них характерна для района поступления стоков в пруды-отстойники (ст.1), вторая – для выхода вод из прудов (ст.2) и р.Енисей (ст.3, 4).

Число видов водорослей перифитона значительно меньше в районе поступления сточных вод (ст.1) – 39 ($H = 2.17 \pm 0.23$ бит) в сравнении со станциями 2, 3 и 4 – 48-50 (H от 2.85 ± 0.33 до 3.30 ± 0.17 бит). Увеличение числа видов на выходе вод из прудов и ниже очевидно связано с изменением лентических условий на лотические. Доля типичных перифитонных водорослей (pp. *Achnanthes*, *Cymbella*, *Cocconeis*, *Gomphonema* и др.) на всех станциях составляла около 40 %. Дисперсионный анализ не показал достоверных отличий средних значений H по грациям фактора «станция» ($F = 3.00$, $p = 0.051$), по фактору «год» ($F = 0.42$, $p = 0.522$) и по фактору «месяц» ($F = 2.23$, $p = 0.096$).

В целом флористический состав перифитона водной системы «пруды-отстойники АО «Красфарма»-р.Енисей» характеризовался как диатомово-зеленый с присутствием синезеленых и эвгленовых водорослей.

Ручей Черемушный и прилежащий участок р. Енисей. В фитоперифитоне ручья Черемушный и прилежащего района р.Енисей было обнаружено 86 видов водорослей, меньше, чем в водной системе «пруды АО «Красфарма»-р.Енисей» и близко к таковому в Красноярском водохранилище. Ведущую роль в формировании видового богатства играли диатомовые водоросли – 58 % от общего числа видов, среди них - семейства *Fragilariaceae* (5 родов) и *Naviculaceae* (5 родов). На втором месте - зеленые водоросли (24%), синезеленые и эвгленовые представлены меньше (10% и 6% соответственно), из желтозеленых обнаружен 1 вид (см. табл. 1).

Во временном аспекте достоверные различия ($p < 0.05$) видового состава фитоперифитона выявлены между списками 1998 и 1999 гг., 1999 и 2000 гг.; в пространственном - между участком ручья ниже поступления стоков алюминиевого производства (ст.3) и р. Енисей выше впадения ручья (ст.5). Кластеризация индексов сходства позволила выделить две группы сообществ (рис. 4): одна характерна для районов ручья выше поступления сточных вод (ст.1), поступления сточных вод (ст.2) и ниже (ст.3); вторая – для устья ручья (ст.4) и р.Енисей выше (ст.5) и ниже (ст.6) впадения ручья.

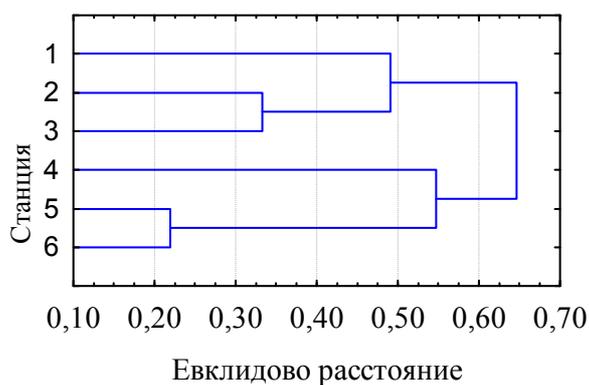
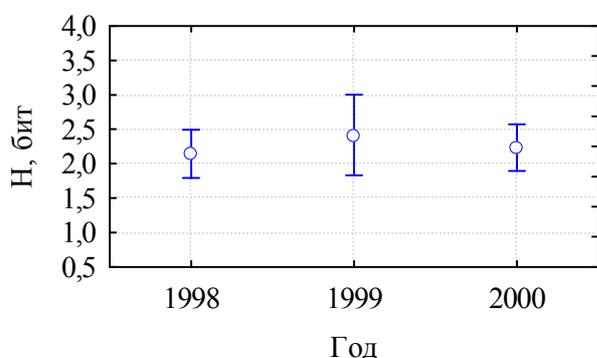


Рис. 4. Дендрограмма сходства видового состава (по станциям: 1-6) фитоперифитона водной системы "ручей Черемушный-р.Енисей" по индексу Серенсена-Чекановского (K_{sc}), 1998-2000 гг.



В ручье Черемушный число видов фитоперифитона было минимальным на ст. 3 (41 вид), максимальным – на ст.4 (48), доля типичных перифитонных водорослей снижалась по течению ручья (от ст.1 к ст.4) от 32% до 23 %. На р.Енисей выше и ниже устья ручья обнаружено по 57 видов, доля типичных – 33, 32% соответственно. Дисперсионный анализ подтверждает существенность различий средних величин индекса Шеннона по станциям ($F=3.02$, $p=0.025$), нежели по годам и месяцам ($F=0.12$, $p=0.89$; $F=0.48$, $p=0.62$ соответственно) (рис. 5).

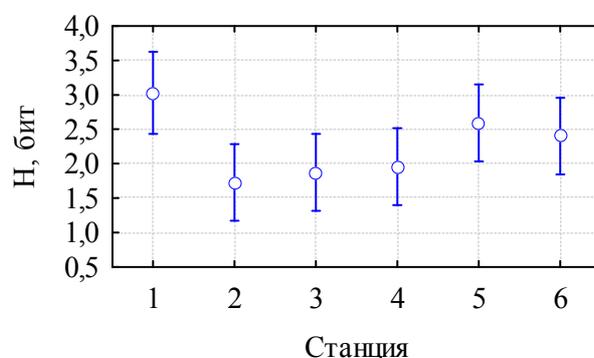


Рис. 5. Средние величины индекса видового разнообразия фитоперифитона (H , бит) по годам и станциям водной системы «ручей Черемушный – р.Енисей» (1998-2000 гг.), станции: 1 - выше поступления сточных вод; 2 - поступления стоков; 3 – ниже поступления стоков; 4 - устье ручья Черемушный; 5 и 6 – р. Енисей выше и ниже устья ручья.

В целом флористический состав перифитона водной системы «ручей Черемушный-р.Енисей» характеризовался как диатомово-зеленый с присутствием синезеленых, эвгленовых и желтозеленых водорослей.

Сравнительная характеристика видовой структуры фитоперифитона исследуемых водных систем. Фитоперифитон исследованных водных систем по флористическому составу характеризовался как диатомово-зеленый с присутствием синезеленых, эвгленовых (все три водных системы) и желтозеленых (ручей Черемушный-р.Енисей) водорослей. Такой характер фитоперифитона для бассейна р.Енисей отмечен и другими авторами (Левадная, 1975, 1986; Щур и др., 1998; Sushchik et al., 2010). Видовое разнообразие по индексу Шеннона было максимальным на водной системе «пруды АО «Красфарма»-р.Енисей» – 2.75 ± 0.11 бит; минимальным на Красноярском водохранилище – 2.03 ± 0.13 бит; статистически они не различались.

Общими для изучаемых трех водных систем были водоросли 41 вида (36%), в том числе повсеместно встречаемыми видами были следующие: *Achnanthes lanceolata*, *A. linearis*, *A. minutissima*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia palea*, *Synedra ulna*. Все эти виды космополиты, бентосные формы, индифферентные по отношению к солености, различающиеся по индивидуальной сапробности (первые три - ксено-

олигосапробы; последние три – α -, β -мезосапробы) и по отношению к рН (*Achnanthes lanceolata*, *Synedra ulna* - алкалофилы, *Navicula cryptocephala* – алкалобионт, остальные - индифференты).

Специфичными (встречающимися только в одной из водных систем) видами для Красноярского водохранилища являются 19 видов водорослей, преобладают типично планктонные зеленые водоросли; для водной системы «пруды АО «Красфарма»-р.Енисей» 3 вида, с преобладанием синезеленых, характерных для болот и высокотрофных водоемов (*Oscillatoria mirabilis* и *Aphanizomenon flos-aquae*); для водной системы «ручей Черемушный-р.Енисей» - 17 видов водорослей, с преобладанием диатомовых, с разными эколого-географическими характеристиками.

Таким образом, каждая из анализируемых водных систем характеризуется как общими, так и специфичными видами фитоперифитона, эври- и стенобионтными, что отражает с одной стороны, принадлежность этих систем к бассейну Енисея, а с другой стороны, указывает на отличия каждой из систем, обусловленные их типом и антропогенной нагрузкой.

Пространственно-временная динамика численности и биомассы фитоперифитона. *Красноярское водохранилище.* Проанализирована межгодовая динамика для каждого изучаемого плеса водохранилища, зарегистрирована смена комплексов массовых (> 10% от общей численности и биомассы) видов водорослей.

Максимальная для водохранилища численность фитоперифитона, отмеченная в 2001 году (5.92 млрд.кл/м²), выше минимальной, отмеченной в 2002 году (0.32 млрд.кл/м²) в 18.5 раз. Максимальная за все годы численность фитоперифитона, отмеченная на Новоселовском плесе (6.67 млрд.кл/м²), выше минимальной, отмеченной на Приморском плесе (0.81 млрд.кл/м²) всего лишь в 8.2 раза (рис. 6).

Вероятно, выраженность различий в уровне развития фитоперифитона по годам (численность (lnN) F=19.97, p<0.001; биомасса (lnB) F=9.34, p<0.001) является в какой-то мере следствием изменений гидрологических условий по годам, например, водности. Действительно, фактор «Водность» оказался значим для динамики численности (lnN) фитоперифитона по результатам однофакторного дисперсионного анализа (F=4.67, p<0.05). Меньшая выраженность различий в плотности перифитона по плесам (численность (lnN) F=2.43, p=0.041; биомасса (lnB) F=3.26, p=0.010), чем по годам, связана с изменениями распределений плотности перифитона по плесам от года к году. В пространственной динамике плотности наблюдалось уменьшение от верховья к низовью в 2000 г.; наличие одного пика (Новоселовский плес) в 2001 г., вариации плотности с двумя пиками – в среднем районе и на Приплотинном плесе - в 2002 и 2005 гг. (см. рис. 6).

Группа доминирующих (> 20 % от общей численности и биомассы) водорослей перифитона представлена 17 видами. Высоким уровнем абсолютной и относительной численности и биомассы характеризовались водоросли зеленые (нитчатка р. *Ulothrix*, *Cladophora glomerata*, *Stigeoclonium tenue*) и синезеленые (нитчатка *Oscillatoria tenuis* и колониальные *Microcystis aeruginosa*), которые, как известно (например, Whitton, 1970; Сиренко, Гавриленко, 1978; Гольд и др., 1988) массово развиваются при органическом загрязнении и вызывают «цветение» вод.

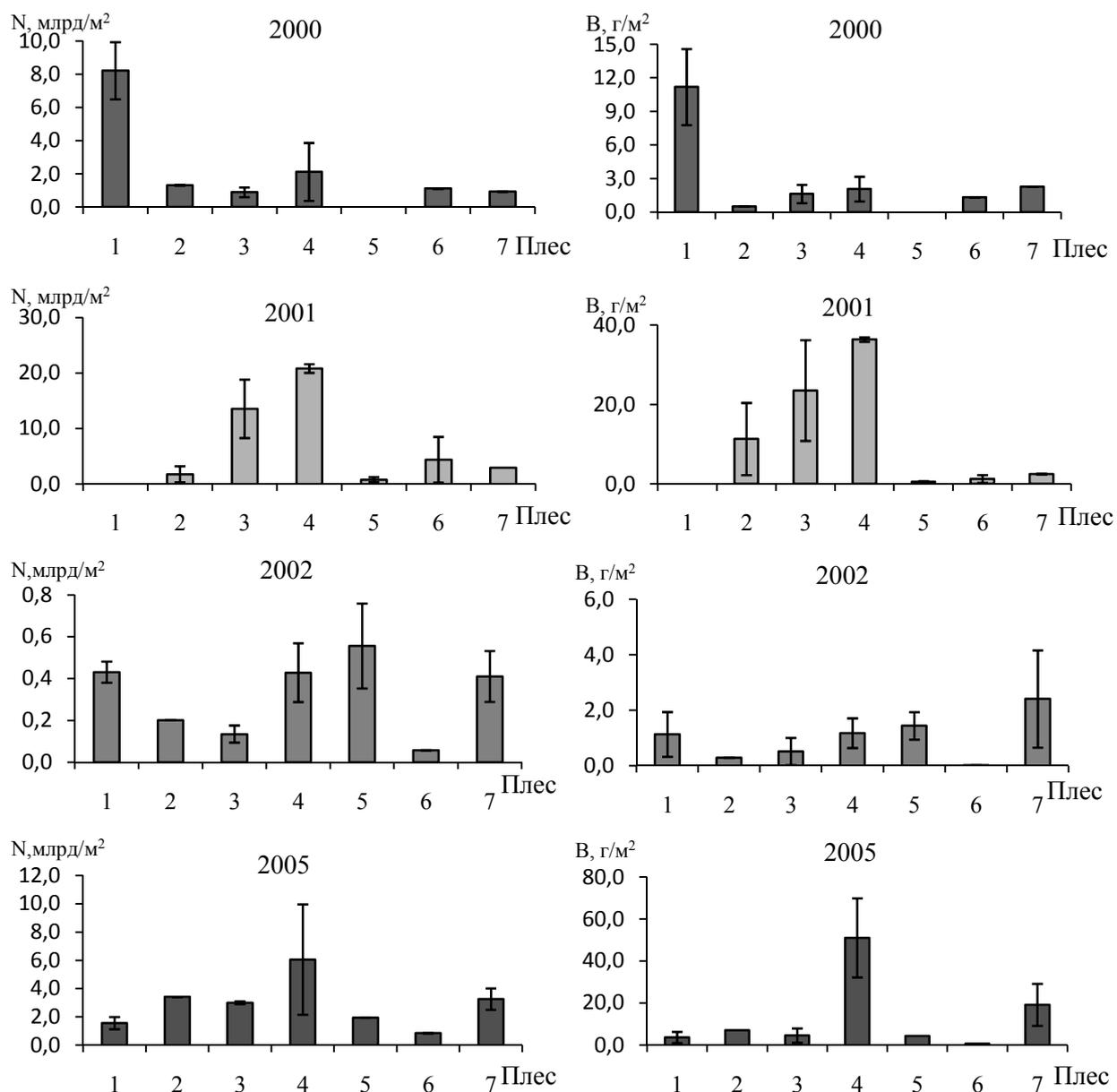


Рис. 6. Динамика численности (N, млрд.кл/м²), биомассы (B, г/м²) фитоперифитона Красноярского водохранилища (август 2000-2002, 2005 гг.), плесы: 1 – Усть-Абаканский, 2 – Моховский; 3 – Краснотуранский; 4 – Новоселовский; 5 – Приморский; 6 – Щетинкинский; 7 – Приплотинный.

Водная система «пруды-отстойники АО "Красфарма" - р. Енисей». Проанализирована внутрисезонная (июнь-август), сезонная (осень-зима-весна-лето) и межгодовая (1999-2000 гг.) динамики структурных показателей фитоперифитона по каждому из районов водной системы, зарегистрирована смена комплексов массовых (> 10% от общей численности и биомассы) видов водорослей.

Плотность фитоперифитона варьировала как в пространственном, так и межгодовом аспектах. Максимальные значения численности и биомассы зарегистрированы в районе поступления вод из прудов в р.Енисей (ст.2): $N=26.81\pm 12.53$ млрд.кл/м² – в мае 1999 г., $B=246.94\pm 69.23$ г/м² – в октябре 1998 г.; минимальные – в районе поступления сточных вод (ст.1) в феврале 1999 г.: $N=0.16\pm 0.04$ млрд.кл/м²; $B=2.34\pm 1.33$ г/м². Дисперсионный анализ показал, что динамика плотности фитоперифитона в наибольшей степени определяется фактором «станция» (численность (lnN) – $F = 10.13$, $p < 0.001$; биомасса (lnB) – $F = 13.30$, $p < 0.001$), в

меньшей - фактором «месяц» (численность ($\ln N$) – $F = 2.76$, $p=0.051$; биомасса ($\ln B$) – $F = 2.95$, $p=0.041$), что определяется различием станций по антропогенной нагрузке и по типу водного режима.

В районе поступления сточных вод фармацевтического производства в среднем за весь период исследований плотность составила $N=1.77\pm 0.86$ млрд.кл/м², $B=6.42\pm 3.13$ г/м², при доминировании отдела Euglenophyta (54% по численности и 61% по биомассе), в группе массовых зарегистрированы *Stigeoclonium tenue*, *Navicula gracilis*, *N. radiosa* и др.

На станции 2 (выход вод из прудов) в среднем за весь период исследований плотность фитоперифитона составила $N=9.24\pm 2.92$ млрд.кл/м², $B=70.16\pm 28.92$ г/м², группа массовых видов была представлена нитчатками *Oscillatoria limosa*, *Cladophora glomerata*, и диатомеей *Diatoma vulgare*, которые указывают на некоторую степень органического загрязнения.

Плотность фитоперифитона на станциях р.Енисей существенно не различалась; в сравнении со станцией 2 уменьшалась до $N=3.97\pm 1.15$ млрд.кл/м², $B=34.37\pm 7.79$ г/м² - выше выхода вод из прудов, $N=3.91\pm 0.66$ млрд.кл/м², $B=49.78\pm 20.99$ г/м² - ниже выхода вод из прудов. Массовыми видами были нитчатки *Oscillatoria limosa*, *Cladophora glomerata*, *Ulothrix zonata*, *U. tenerrima* и диатомовые *Achnanthes linearis*, *Cocconeis placentula*. То есть воды прудов-отстойников не оказывали ингибирующего действия на уровень развития фитоперифитона.

Водная система «ручей Черемушный - р. Енисей». Проанализирована внутрисезонная (июнь-август) и межгодовая (1998-2000 гг.) динамики структурных показателей фитоперифитона по каждому из районов на водной системе, зарегистрирована смена комплексов массовых (> 10% от общей численности и биомассы) видов водорослей.

В водной системе «ручей Черемушный-р. Енисей» плотность фитоперифитона варьировала в пространственном и межгодовом аспектах. Также как и в вышерассмотренных системах, результаты дисперсионного анализа показали, что определяющая роль в варьировании величин плотности принадлежит фактору «станция» (численность ($\ln N$) – $F = 4.63$, $p=0.003$; биомасса ($\ln B$) – $F = 3.36$, $p=0.015$).

Максимальные значения численности и биомассы в среднем за период исследования зарегистрированы в районе ниже поступления сточных вод (ст.3): $N=49.43\pm 25.89$ млрд.кл/м², $B=48.93\pm 19.36$ г/м², минимальные – на р.Енисей выше устья ручья (ст.5): $N=12.67\pm 3.25$ млрд.кл/м²; $B=29.79\pm 10.07$ г/м², при существенной межгодовой вариации (рис. 7). Следует отметить увеличение доли синезеленых от 1998 г. к 2000 г. в среднем (по всем станциям) с 23% до 41%, и соответствующее уменьшение доли диатомовых с 42 % до 33% и зеленых водорослей с 35 % до 26%.

Численность и биомасса фитоперифитона в ручье возрастали от фонового (ст.1) к району ниже поступления стоков (ст.3) и снижались к устью ручья (ст.4), а в р.Енисей выше и ниже устья ручья были близкими, уровня среднего или выше среднего. В зоне выше поступления сточных вод (ст.1) преобладали диатомовые водоросли, без ярко выраженного вида-эдификатора, что привело к низкой плотности сообщества. Высокие значения плотности фитоперифитона в зоне ниже поступления стоков (ст.3) определялись в основном зелеными - *Stigeoclonium tenue* и синезелеными - *Synechocystis aquatilis*. Развитие зеленых водорослей, как отмечает ряд авторов (Whitton, 1970; Гольд и др., 1988), свидетельствует об органическом загрязнении, и соответствует специфике развития фитоперифитона, когда структурообразующими видами выступают крупные нитчатые водоросли (Протасов, 1994).

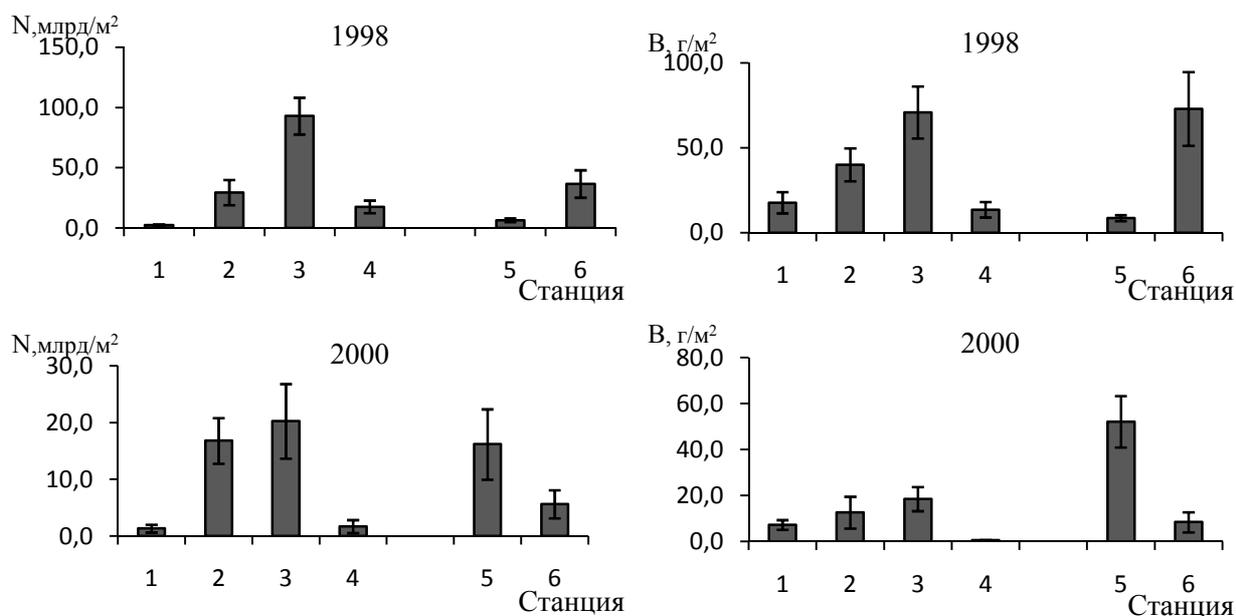


Рис. 7. Динамика численности (N, млрд.кл/м²) и биомассы (B, г/м²) фитоперифитона водной системы «ручей Черемушный-р.Енисей» по годам 1998, 2000 и районам: 1 - выше поступления сточных вод; 2 - поступление сточных вод; 3 - ниже поступления стоков; 4 - устье ручья Черемушный; 5 и 6 – р. Енисей 500 м выше и ниже устья ручья Черемушный.

В целом, увеличение численности и биомассы фитоперифитона от ст. 1 к ст. 3 может свидетельствовать об интенсивно протекающих процессах самоочищения вод. На р. Енисей (ст.5, 6) доминировали зеленые, но другие виды нежели в ручье: *Ulothrix zonata*, *U. tenerrima*, *Stigeoclonium tenue* и *Spirogyra* sp. Эти виды распространены в нижнем бьефе Красноярской ГЭС и характерны для р. Енисей (Левадная, 1986; Щур и др., 1998; Anishchenko et. al., 2010; Sushchik et al., 2010).

Сравнительная характеристика плотности фитоперифитона исследуемых водных объектов. При сравнении величин численности, максимум зарегистрирован на водной системе «ручей Черемушный-р.Енисей», минимум – на Красноярском водохранилище, различия достоверны ($p < 0.05$). Максимальная биомасса по усредненным показателям зарегистрирована в водной системе «пруды-отстойники «АО Красфарма» - р.Енисей», минимальная - в Красноярском водохранилище (табл. 2). Таким образом, наименьшие показатели плотности в изучаемых водных системах характерны для фитоперифитона в Красноярском водохранилище.

Таблица 2 – Показатели плотности (N, млрд.кл/м² – численность; B, г/м² - биомасса) фитоперифитона исследуемых водных систем, 1998-2005 гг.

Значение	Водные системы		
	Красноярское водохранилище	пруды АО «Красфарма»-р.Енисей»	ручей Черемушный-р.Енисей
N, млрд.кл/м ²			
Минимум	0.06±0.01	0.16±0.04	0.64±0.24
Максимум	20.81±0.79	26.81±12.53	193.21±34.31
Среднее	3.09±0.88	4.90±0.88	19.26±5.22
B, г/м ²			
Минимум	0.02±0.01	2.34±1.33	0.41±0.11
Максимум	51.02±28.81	246.94±69.23	147.64±22.94
Среднее	7.22±2.34	42.17±9.07	27.42±5.55

Из доминирующих видов (по численности за период исследования) на каждой из трех водных систем общими для всех были *Ulothrix tenerrima*, *U. zonata* и *Stigeoclonium tenue*. Очевидно, эти зеленые нитчатые водоросли являются видами-эдификаторами для сообществ фитоперифитона разных водных объектов бассейна р.Енисей. Среди доминирующих часто встречались в каждой из водных систем (кроме вышеназванных общих) следующие виды: *Oscillatoria tenuis*, *Fragilaria crotonensis*, *Cladophora glomerata*, *Synechocystis aquatilis*, *Achnanthes minutissima*, *Cyclotella radiosa*, *Achnanthes lanceolata* на Красноярском водохранилище; р. *Euglena*, *Oscillatoria limosa*, *Diatoma vulgare*, *Cladophora glomerata*, *Achnanthes linearis* – в водной системе «пруды АО «Красфарма»-р.Енисей»; *Microcystis aeruginosa*, *Synechocystis aquatilis*, *Navicula cuspidata*, *Oscillatoria limosa*, *Oscillatoria tenuis*, *Achnanthes minutissima* – в водной системе «ручей Черемушный-р.Енисей».

На всех трех водных системах (по данным дисперсионного анализа) вариации численности и биомассы фитоперифитона в значительной мере обусловлены фактором «станция». Таким образом, структура фитоперифитона определяется пространственной спецификой природных (тип водоема, гидрологические характеристики) и антропогенных факторов (специфика состава сточных вод и освоенности водосбора).

Глава 4. Оценка состояния исследуемых водных систем

Состояние водных систем оценивается по приоритетным показателям качества и трофности вод. В настоящем разделе работы качество вод исследуемых водных систем оценивается по биологическим показателям: биотестирование - оценка токсичности по альгологическому тесту *Scenedesmus quadricauda*; биоиндикация – по системе сапробности через индивидуальные величины сапробности водорослей литорального фитоперифитона.

Токсичность вод в оценке качества воды по темпу роста водорослей *Scenedesmus quadricauda*.

Красноярское водохранилище. На анализируемых плесах водохранилища коэффициент прироста водорослей варьировал на уровне контрольного значения, таким образом, эффект токсичности не регистрировался, тестируемые воды не оказывали негативного (токсического) воздействия на темп деления *Scenedesmus quadricauda*.

Водная система «пруды-отстойники АО «Красфарма-р.Енисей». Токсичность вод была зарегистрирована и в острых и в хронических экспериментах в отдельные периоды времени на всех станциях (в 18 % экспериментах), по уровню биологически безопасного разбавления воды оценены как малотоксичные. Исключение составили эксперименты с водой в мае 1999 г., когда на всех станциях вода была нетоксична. В экспериментах, когда была зарегистрирована токсичность, эффект проявился в ингибировании темпа деления клеток водорослей в 71 % случаев, и в стимулировании - в 29 % случаев. В сезонном аспекте токсичность выражена (на всех станциях) осенью - в октябре 1998 г. и летом - в июле 1999 г., что, по видимому, связано с изменениями в работе завода АО «Красфарма».

Водная система «ручей Черемушный – р.Енисей». Токсичность вод была зарегистрирована и в острых и в хронических экспериментах в отдельные периоды времени на всех станциях (в 11 % экспериментах). Как и в вышерассмотренной системе по уровню биологически безопасного разбавления воды оценены как малотоксичные. Оценки токсичности варьировали в пространстве и времени, без определенной направленности. В целом, на водной системе «ручей Черемушный-

р.Енисей» в 57 % случаев зарегистрирован токсический эффект ингибирования коэффициента прироста клеток водорослей, в 43 % случаев - стимулирования.

Наивысшая степень токсичности (хроническая) для обеих водных систем была при максимальных значениях индекса загрязнения вод (ИЗВ), рассчитанного на основе имеющихся гидрохимических данных по (Гусева и др., 2000).

Оценка качества вод по природным сообществам фитоперифитона. Сапробный анализ косвенно информирует об уровне органического загрязнения вод.

Красноярское водохранилище. Среди водорослей фитоперифитона, обнаруженных в Красноярском водохранилище, 77.2% видов имели известную индивидуальную величину сапробности, из них наибольшее количество у β -мезосапробов - 40.9 %, олиго-, и α -мезосапробы составляли 14.8 и 12.5 % соответственно, ксеносапробы - 6.8 %, остальные группы представлены незначительно.

За период исследований август 2000-2001, 2005 гг. индекс сапробности варьировал от $S_{\min}=1.30\pm 0.19$ балл (Моховский плес, 2001 г.) до $S_{\max}=2.17\pm 0.32$ балл (Краснотуранский плес, 2000 г.), в пределах двух классов: II (воды чистые) и III (умеренно загрязненные) (рис. 8).

Сапробный фон определяли: ксеносапробы - *Didymosphenia geminata* ($S_i=0.1$ балл), *Diatoma hiemale* ($S_i=0.1$ балл), *Achnanthes linearis* ($S_i=0.4$ балл) и др.; олигосапробы - *Pinnularia microstauron* ($S_i=0.8$ балл), *Ulothrix zonata* ($S_i=1.1$ балл), *Cymbella ventricosa* ($S_i=1.35$ балл), *Fragilaria crotonensis* ($S_i=1.4$ балл), *Achnanthes minutissima* ($S_i=1.45$ балл) и др.; β -мезосапробы - *Cladophora glomerata* ($S_i=1.65$ балл), *Melosira varians* ($S_i=1.85$ балл), *Ulothrix tenerrima* ($S_i=2.0$ балл), *Synechocystis aquatilis* ($S_i=2.5$ балл) и др.; α -мезосапробы - *Navicula cryptocephala* ($S_i=2.7$ балл), *Stigeoclonium tenue* ($S_i=2.7$ балл), *Oscillatoria tenuis* ($S_i=2.85$ балл) и др.

В межгодовой динамике величины индекса сапробности фитоперифитона варьировали незначительно: минимальное значение $S=1.68\pm 0.07$ балл зарегистрировано в 2005 г., максимальное $S=1.95\pm 0.14$ балл в 2002 г. Межгодовые различия в целом по водохранилищу по U-критерию Манна-Уитни недостоверны ($p>0.05$).

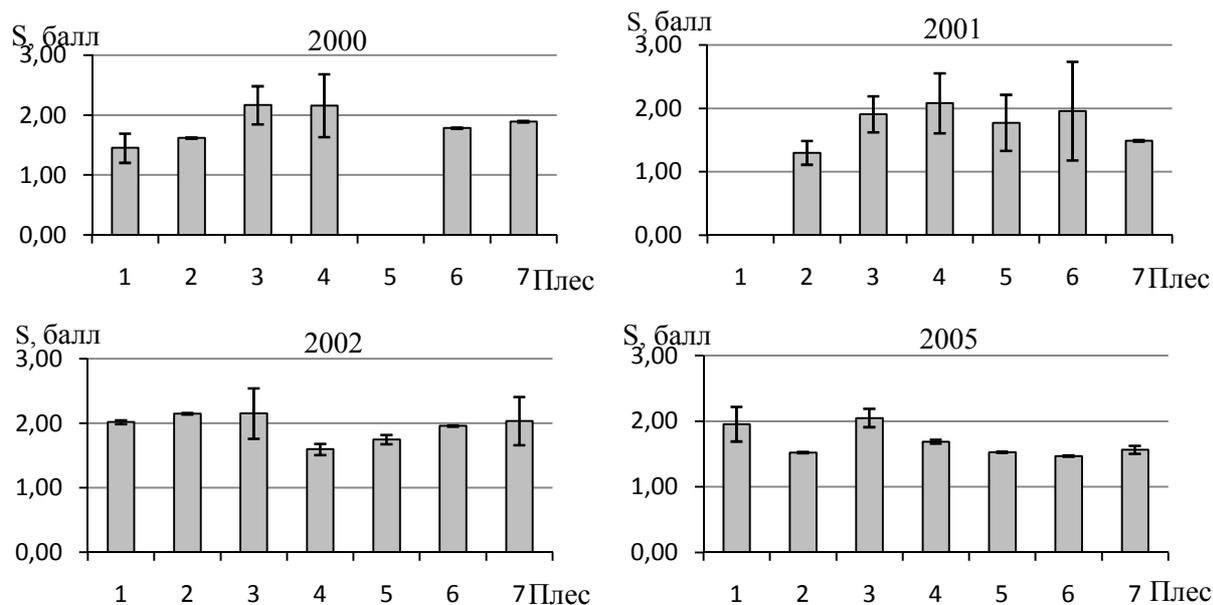


Рис. 8. Пространственная динамика индекса сапробности (S, балл) фитоперифитона Красноярского водохранилища по годам (2000-2002, 2005); плесы: 1 – Усть-Абаканский, 2 – Моховский; 3 – Краснотуранский; 4 – Новоселовский; 5 – Приморский; 6 – Щетинкинский; 7 – Приплотинный.

Таким образом, класс качества воды Красноярского водохранилища в целом по отмеченным выше среднегодовым индексам сапробности фитоперифитона оставался постоянным – III класс, воды оценивались как умеренно загрязненные, β -мезосапробная стадия самоочищения вод.

Водная система «пруды-отстойники АО «Красфарма» - р.Енисей». Среди водорослей фитоперифитона для 81.5% видов известна величина индивидуальной сапробности: наибольшее количество у β -мезосапробов – 48.1 %, ксеносапробы и α -мезосапробы составили по 9.3 %, олигосапробы - 12.9 %, полисапробы представлены 1 видом (*Chlorella vulgaris* ($S_i=3.6$ балл)).

За период исследований 1998-2000 гг. индекс сапробности варьировал в пределах от $S_{\min}=1.22\pm 0.01$ балл, олигосапробная зона (р.Енисей ниже впадения вод из прудов (ст.4), август 2000 г.) до $S_{\max}=3.17\pm 0.12$ балл, α -мезосапробная зона самоочищения (пруды, район сброса стоков фармацевтического производства, октябрь 1998 г.) (рис. 9).

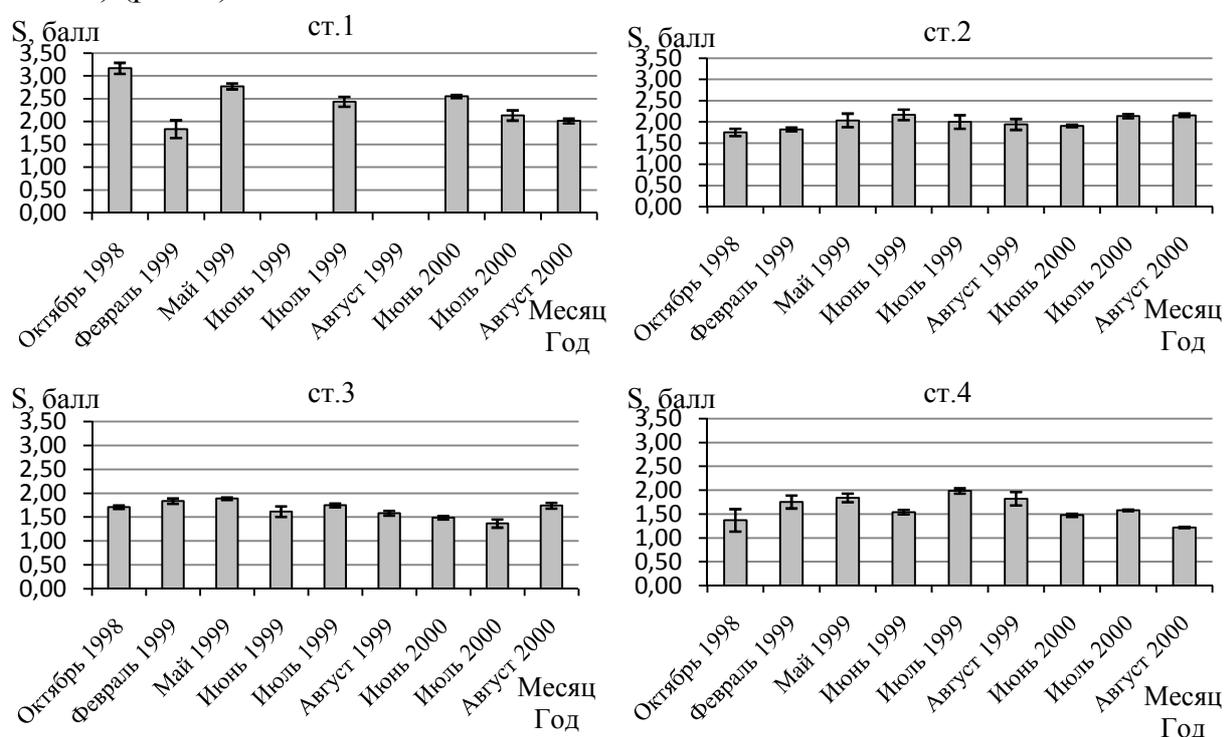


Рис. 9. Динамика величин индекса сапробности (S, балл) фитоперифитона водной системы «пруды-отстойники АО «Красфарма»-р.Енисей» по станциям: 1 – район поступления сточных вод фармацевтического производства; 2 - выход вод из прудов в р.Енисей; 3 и 4 - р. Енисей 500 м выше и ниже устья прудов-отстойников.

Качество вод в районе сброса (ст.1, III-IV класс качества) определяли массовые виды - *Euglena proxima* ($S_i = 3.45$ балл), *Euglena granulata* ($S_i = 1.6$ балл), *Stigeoclonium tenue* ($S_i = 2.7$ балл) и др. Развитие эвгленовых и зеленых водорослей указывает на высокое содержание органики в данном районе. По мере продвижения к устью прудов, качество вод улучшается, пруды выполняют функцию отстойников. На ст.2 доминантами выступают виды β -мезосапробы *Cladophora glomerata* ($S_i=1.65$ балл), *Diatoma vulgare* ($S_i=1.85$ балл), *Oscillatoria limosa* ($S_i=2.35$ балл), *Cymbella prostrata* ($S_i=2.0$ балл), определяющие III класс качества воды. Минимальные значения индекса сапробности зарегистрированы на участках р.Енисей выше (ст.3) и ниже (ст.4) выхода вод из прудов-отстойников – II-III класс качества.

Сравнительный анализ значений индекса сапробности (S , балл) и индекса видового разнообразия Шеннона (H , бит) на участке реки Енисей выше (ст.3) оформленного поступления вод из прудов с таковыми на участке реки ниже (ст.4), показал отсутствие различий в большинстве случаев. Так как вариации индекса сапробности и величины информационного индекса Шеннона наблюдались в пределах одного класса, можно считать, что негативного влияния вод прудов-отстойников на качество воды реки Енисей, нет.

В межгодовой динамике величины индекса сапробности фитоперифитона, в среднем по водной системе за вегетационный сезон, варьируют незначительно: в 1999 г. $S=1.88\pm 0.09$ балл, в 2000 г. $S=1.81\pm 0.12$ балл. Межгодовые различия в целом по водной системе по U -критерию Манна-Уитни недостоверны ($p>0.05$). Таким образом, класс качества вод по отмеченным индексам сапробности фитоперифитона оставался постоянным для исследуемого периода – III класс, воды оценивались как умеренно загрязненные, β -мезосапробная стадия самоочищения вод.

Водная система «ручей Черемушный - р.Енисей». Среди водорослей фитоперифитона известную величину индивидуальной сапробности имели 78% видов, из них наибольшее количество у β -мезосапробов – 40.7 %, олиго- и α -мезосапробы составили по 12.8% и 16.3%, ксеносапробы - 7.0 %, полисапробы представлены 1 видом (*Chlorella vulgaris* ($S_i=3.6$ балл)).

За период исследований 1998-2000 гг. индекс сапробности варьировал в пространственном и межгодовом аспектах, в среднем (за вегетационный сезон) от $S_{\min}=1.45\pm 0.32$ балл, II-III класс качества (устье ручья - ст.4, 2000 г.) до $S_{\max}=2.39\pm 0.10$ балл, III класс качества (выше поступления стоков - ст.1, район поступления стоков - ст.2, 2000 г.) (рис. 10).

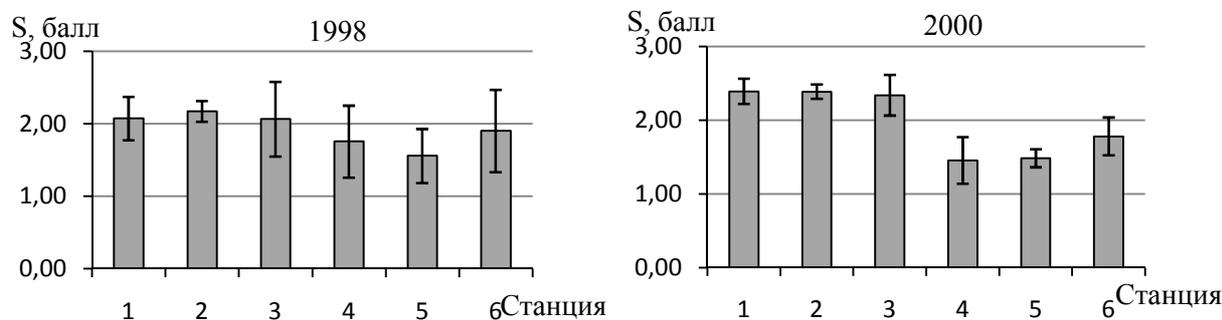


Рис. 10. Динамика величин индекса сапробности (S , балл) фитоперифитона водной системы «ручей Черемушный-р.Енисей» по годам 1998, 2000 и районам: 1 - выше поступления сточных вод алюминиевого производства; 2 - поступление сточных вод; 3 - ниже поступления вод; 4 - устье ручья Черемушный; 5 и 6 – р. Енисей выше и ниже устья ручья.

В пространственной динамике индекса сапробности по районам водной системы можно отметить, что максимальными значениями выделяется собственно ручей Черемушный (без устья): величины индекса варьировали от $S=2.07\pm 0.51$ балл (ст.3) до - $S=2.39\pm 0.10$ балл (ст.2). Воды этих районов оценивались III классом качества, умеренно загрязненные, β -мезосапробная зона самоочищения вод. Такие значения индекса сапробности по районам определены индивидуальными сапробностями видов-доминантов, таких как *Achnanthes minutissima* ($S_i=1.45$ балл), *Navicula cryptocephala* ($S_i=2.7$ балл), *Navicula cuspidata* ($S_i=2.6$ балл), *Oscillatoria tenuis* ($S_i=2.85$ балл), *Stigeoclonium tenue* ($S_i=2.7$ балл) и др. Далее, по течению ручья, происходит «улучшение» качества вод, индекс сапробности в устье ручья Черемушный (ст.4) снижался до $S_{1998}=1.76\pm 0.50$ балл и $S_{2000}=1.45\pm 0.32$ балл, определяя по-

граничным II-III классом качества, чистые–умеренно загрязненные воды (см. рис. 10). В этом районе ручья в числе доминантов, наряду с β -мезосапробами *Microcystis aeruginosa* ($S_i=1.75$ балл), *Oscillatoria limosa* ($S_i=2.35$ балл) появляются олигосапробы *Achnanthes lanceolata* ($S_i=0.75$ балл), *Achnanthes minutissima* ($S_i=1.45$ балл) и др., определившие понижение величин индекса сапробности.

На р. Енисей значения индекса сапробности по фитоперифитону были ниже, чем в ручье и варьировали от 1.48 ± 0.12 балл до 1.90 ± 0.57 балл (см. рис. 10). Класс качества воды по отмеченным индексам в районе выше устья ручья (ст.5) соответствовал пограничному II-III классу качества, чистые-умеренно загрязненные воды; на участке ниже устья (ст.6) - III классу качества, умеренно загрязненные воды.

Сравнительный анализ значений индекса сапробности (S , балл) и индекса видового разнообразия Шеннона (H , бит) на участке реки Енисей выше устья ручья (ст.5) с таковыми на участке реки ниже (ст.6), показал отсутствие различий в большинстве случаев (исключение – июнь 1998, 2000 гг.). Так как вариации индекса сапробности наблюдались в пределах одного класса, можно считать, что воздействие вод ручья Черемушный на качество вод реки Енисей минимально (незначительно), и имеет не постоянный, а временный характер, и, очевидно, связано как с динамикой выбросов сточных вод предприятия, так и с динамикой поступления стоков с водосборной площади. Некоторые изменения в структуре сообщества фитоперифитона связаны не с уменьшением количества видов (ст.5 – 32 вида, ст.6 – 32 вида), а с изменением выравненности численности в сообществе – на р. Енисей ниже устья доминирование *Ulothrix tenerrima* ярко выражено ($\approx 95\%$ от общей численности).

В межгодовой динамике величины индекса сапробности фитоперифитона водной системы «ручей Черемушный-р.Енисей», в среднем за вегетационный сезон, варьировали незначительно: в 1998 г. - $S=1.92\pm 0.09$ балл, в 2000 г. - $S=1.97\pm 0.19$ балл. Межгодовые различия величин индексов в целом по водной системе по U-критерию Манна-Уитни недостоверны ($p>0.05$). Таким образом, класс качества воды по отмеченным индексам сапробности фитоперифитона оставался постоянным для исследуемого периода – III класс, воды оценивались как умеренно загрязненные, β -мезосапробная стадия самоочищения вод.

Дополнительно для оценки качества воды водной системы «ручей Черемушный - р.Енисей» по фитоперифитону был использован трофический диатомовый индекс TDI (рис. 11).

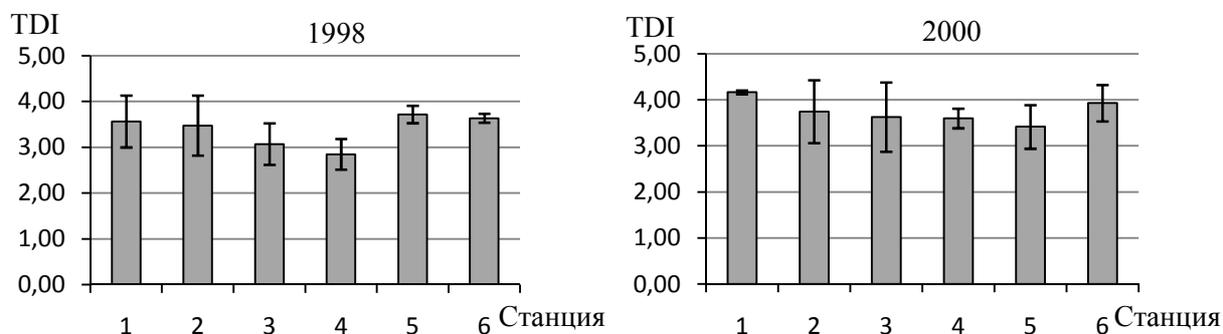


Рис. 11. Пространственно-временная динамика трофического диатомового индекса (TDI) водной системы «ручей Черемушный–р.Енисей», по районам: 1 - выше поступления сточных вод алюминиевого производства; 2 - поступление сточных вод; 3 - ниже поступления вод; 4 - устье ручья Черемушный; 5 и 6 – р. Енисей выше и ниже устья ручья.

Значения индекса варьировали от $TDI_{\min}=2.15$ (ручей Черемушный, устье (ст.4), июль 2000 г.) до $TDI_{\max}=4.72$ (ручей Черемушный выше поступления стоков (ст.1), июль 2000 г.), в среднем составили 3.58 ± 0.12 . Средние значения по годам $TDI_{1998}=3.37\pm 0.17$ и $TDI_{2000}=3.75\pm 0.19$ достоверно не различались ($p>0.05$).

Коэффициент корреляции трофического диатомового индекса с индексом сапробности был невысок ($r=0.23$, $n=41$, $p>0.05$). Корреляция TDI с индексом Шеннона была на том же уровне ($r=0.25$, $n=41$, $p>0.05$). Таким образом, его информативность в оценке качества воды водной системы «ручей Черемушный-р.Енисей» низка и не имеет преимуществ.

Максимальное значение индекса сапробности (в среднем за исследуемый период) зарегистрировано в водной системе «ручей Черемушный - р.Енисей» – $S=1.94\pm 0.06$ балл, минимальное – в Красноярском водохранилище – $S=1.81\pm 0.05$ балл; эти величины достоверно не отличались ($p>0.05$) и определяли качество воды III классом, умеренно загрязненные воды, β -мезосапробная стадия самоочищения вод.

Влияние экологических факторов на структурные характеристики и плотность фитоперифитона. На структуру фитоперифитона, кроме сточных вод, смылов с водосборной площади и других загрязнений, могут влиять и другие факторы среды. Проверку этого влияния на изменение индекса видового разнообразия Шеннона (H), численности ($\ln N$) и биомассы ($\ln B$) провели с помощью одно- и двухфакторных дисперсионных анализов (Шитиков и др., 2005). Анализировали следующие факторы: температура (T , °C), количество достигающей поверхности водоема солнечной радиации, рассчитанной, как среднее значение за недельный период до взятия пробы ($Q_{\text{неделя}}$, кВт/м²), индекс загрязнения вод (ИЗВ, балл), токсичность (T , усл.ед.). Показано влияние на структурные характеристики фитоперифитона разнотипных водных систем: *света* – на индекс видового разнообразия H в Красноярском водохранилище и водной системе «пруды АО «Красфарма»-р.Енисей»; *температуры* - на H и биомассу фитоперифитона в – системе «пруды АО «Красфарма»-р.Енисей»; *химического состава воды*, выраженного ИЗВ, – на H и численность фитоперифитона в системе «ручей Черемушный-р.Енисей», выраженного *токсичностью воды* - на численность фитоперифитона в последней системе.

Выводы

1. В составе фитоперифитона исследованных водных систем зарегистрировано 113 видов и внутривидовых таксонов водорослей, из них: в Красноярском водохранилище (2000-2002, 2005 гг.) - 88 видов (в том числе диатомовых – 52 вида, зеленых – 25, синезеленых – 9, эвгленовых – 2); в водной системе «пруды АО "Красфарма" - р. Енисей» (1998-2000 гг.) – 54 вида (в том числе диатомовых – 38, зеленых - 10, синезеленых и эвгленовых - по 3 вида); в водной системе «ручей Черемушный - р. Енисей» (1998-2000 гг.) - 86 видов (в том числе диатомовых - 50, синезеленых - 9, зеленых - 21, эвгленовых – 5, желтозеленых - 1 вид). Наибольшее видовое разнообразие по индексу Шеннона отмечено для водной системы «пруды АО «Красфарма»-р. Енисей», минимальное – для Красноярского водохранилища.

2. При оценке сходства видового состава между общими списками фитоперифитона водных систем коэффициент Серенсена-Чекановского варьировал в пределах 0.62 - 0.71. Общими для изучаемых трех водных систем были водоросли 41 вида (36%), повсеместно во всех системах встречались: *Achnanthes lanceolata*, *Ach-*

nanthes linearis, *Achnanthes minutissima*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia palea*, *Synedra ulna*. Максимальное число специфических видов отмечено для Красноярского водохранилища (19 видов), минимальное - для водной системы «пруды АО «Красфарма»-р.Енисей» (3 вида).

3. Средняя за период исследования численность фитоперифитона была наибольшей в системе «ручей Черемушный-р.Енисей» (19.26 ± 5.22 млрд.кл/м²), по сравнению с системой «пруды АО «Красфарма»-р. Енисей» (4.90 ± 0.88 млрд.кл/м²) и Красноярским водохранилищем (3.09 ± 0.88 млрд.кл/м²). По величинам средней биомассы водные системы составили другой ряд: «пруды АО «Красфарма»-р.Енисей» (42.17 ± 9.07 г/м²), «ручей Черемушный-р.Енисей» (27.42 ± 5.55 г/м²), минимальная также была в Красноярском водохранилище (7.22 ± 2.34 г/м²). Видами, доминирующими по численности во всех трех водных системах, были: *Ulothrix tenerrima*, *Ulothrix zonata*, *Stigeoclonium tenue*. Наряду с ними, для каждой из систем был характерен свой набор часто встречающихся доминирующих видов: *Microcystis aeruginosa*, *Navicula cuspidata*, виды р.*Oscillatoria*, *Achnanthes minutissima* – в водной системе «ручей Черемушный-р.Енисей»; р. *Euglena*, *Oscillatoria limosa*, *Diatoma vulgare*, *Cladophora glomerata*, *Achnanthes linearis* – в водной системе «пруды АО «Красфарма»-р.Енисей»; *Oscillatoria tenuis*, *Fragilaria crotonensis*, *Cladophora glomerata*, *Achnanthes minutissima* - в Красноярском водохранилище.

4. Плотность и видовая структура фитоперифитона в каждой из систем статистически достоверно различались в зависимости от времени (месяц, год) и места отбора проб, при этом пространственные различия - по районам (станциям), плесам были более выраженными.

5. Воды Красноярского водохранилища не оказывали токсического воздействия на тест-объект *Scenedesmus quadricauda*. Токсические эффекты были зарегистрированы на водных системах, принимающих оформленные стоки фармацевтического (в 18% экспериментах) и алюминиевого (в 11% экспериментах) производств, воды этих систем оценены как малотоксичные.

6. Средние значения индекса сапробности по фитоперифитону изменялись в пределах от 1.81 ± 0.05 балл (Красноярское водохранилище) до 1.94 ± 0.06 балл («ручей Черемушный-р.Енисей»), что оценивает воды всех изученных водных систем III классом качества, умеренно загрязненные. Индексы сапробности, рассчитанные для отдельных районов (станций) внутри каждой из водных систем, позволили получить более дифференцированную оценку антропогенного воздействия, в том числе показать, что качество воды р.Енисей ниже устья ручьев сопоставимо с таковым участка реки выше по течению.

7. Изменчивость некоторых структурных характеристик сообществ фитоперифитона статистически достоверно определялась влиянием следующих факторов: индекса видового разнообразия Шеннона (*H*) в Красноярском водохранилище и водной системе «пруды АО «Красфарма»-р.Енисей» - количеством поступающей солнечной радиации; *H* и биомассы фитоперифитона в системе «пруды АО «Красфарма»-р.Енисей» - температурой; *H* и численности фитоперифитона в системе «ручей Черемушный-р.Енисей» - химическим составом воды, выраженным как ИЗВ, численности фитоперифитона в последней системе - токсичностью.

Список работ опубликованных по теме диссертации

1. 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 «Биологическая серия». Вып. 1. Красноярск: ИЦ КрасГУ, 2003. С. 69-78.
2. 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.
3. Глущенко Л.А. Фитоперифитон // Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод / Под ред. академ. А.Ф.Алимова, д-ра биол. наук М.Б.Ивановой; отв. за вып. проф. З.Г.Гольд. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2008. С. 291-301.
4. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Тропина С.П. Взаимосвязь оценок качества воды по результатам биоиндикации и биотестирования (на примере ручья Черемушный бассейна р. Енисей) // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: матер. науч. конф. 3-7 сентября 2000. Томск: НТЛ. 2000. С. 95-98.
5. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И. Оценка токсичности вод Красноярского водохранилища по Биотестам // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири. Вып. 2. Красноярск: КНИИГиМС. 2000. С. 64-68.
6. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Тропина С.П., Шадрин И.А. Взаимосвязь показателей оценки качества воды по природным водным сообществам и экспериментальным биотестам // VIII съезда ГБО РАН: тез. докл. Т.2. Калининград, 16-23 сентября 2001. Калининград: АтлантНИРО. 2001. С. 119-120.
7. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Шулепина С.П., Шадрин И.А. Перспективы использования унифицированного классификатора качества вод по химическим и биологическим показателям (биотестирование, биоиндикация) в экологическом контроле водных экосистем бассейна Енисея // Проблемы экологии и развития городов: матер. 2 Всерос. научно-практической конф. Т. 2. Красноярск: Сиб ГТУ. 2001. С. 107-110.
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. Вып. 3. Красноярск: КНИИГиМС. 2001. С. 85-96.
9. Гольд В.М., Глущенко Л.А., Гольд З.Г., Попельницкая И.М., Попельницкий В.А., Миниахметова Е.Б., Мучкина Е.Я. Энергетические аспекты функционирования планктона Красноярского водохранилища // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Центральной Сибири. Вып.3. Красноярск: КНИИГиМС. 2001. С. 140-143.
10. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Шулепина С.П., Шадрин И.А. Взаимосвязь нормативных характеристик качества воды по дескрипторам биоиндикации и биотестирования (на примере водных объектов бассейна Енисея) // Современные проблемы водной токсикологии. Тез. докл. Всерос. конф. с участием

- специалистов из стран ближнего и дальнего зарубежья 19-21 ноября 2002. Борок: Институт биологии внутренних вод РАН. 2002. С. 137-138.
11. Глущенко Л.А., Морозова И.И., Микешина А.К. Пространственно-временная динамика структурных характеристик перифитона разнотипных водных объектов бассейна Енисея // Перифитон континентальных вод: современное состояние изученности и перспективы дальнейших исследований: матер. докл. Международного симпозиума 3-5 февраля 2003 Тюмень / Под ред. А.А.Протасова и А.В.Толстикова. Тюмень: ООО "Опцион ТМ-Холдинг". 2003. С. 68-70.
 12. Гольд З.Г., Глущенко Л.А., Морозова И.И., Кожевникова Н.А., Шулепина С.П., Шадрин И.А. Межгодовая динамика биологических показателей в оценке качества воды и структуры экосистемы глубоководного водоема (на примере Красноярского водохранилища) // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: матер. 2 Международной науч. конф. 22-26 сентября 2003, Минск-Нарочь. Минск: БГУ, 2003. С. 115-117.
 13. Глущенко Л.А. Пространственно-временная динамика структурных характеристик фитоперифитона Красноярского водохранилища // IX съезд ГБО РАН: тез. докл. Т.1. Тольятти, 18-22 сентября 2006 / Отв. ред. академик РАН, д.б.н. А.Ф.Алимов, чл.-корр. РАН, д.б.н. Г.С. Розенберг. Тольятти: Институт экологии волжского бассейна РАН. 2006. С. 103.
 14. Gold Z.G., Gladyshev M.I., Gluschenko L.A. et al. Krasnoyarsk water reservoir: monitoring, biota, water quality // Journal of Siberian Federal University. Biology 2. 2008. №1. P. 178-186.
 15. Глущенко Л.А., Морозова И.И. Межгодовая динамика перифитонных сообществ глубоководного водоема (на примере Красноярского водохранилища) // X съезд ГБО РАН: тез. докл. Владивосток, 28 сентября - 2 октября 2009/ Отв. ред. А.Ф.Алимов, А.В. Адрианов. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 94.