

УДК 574.5:591

Е. Крупина На правах рукописи

КРУПИНА ЕЛЕНА ГРИГОРЬЕВНА

**Структура зоопланктона экологически разнотипных водоемов и водотоков
Казахстана**

03.00.08 – зоология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Е. Крупина

Республика Казахстан
Алматы, 2010

Работа выполнена в Дочернем государственном предприятии «Институт зоологии» Республиканского государственного предприятия «Центр биологических исследований» Комитета науки Министерства образования и науки Республики

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук,
профессор К.К. Увалиева

доктор биологических наук,
профессор В.Н. Долгин

доктор биологических наук,
профессор З.И. Иззатуллаев

Ведущая организация:

Институт биологии внутренних вод
им. И.Д. Папанина РАН (Россия)

Защита состоится 30 сентября 2010 г. в «12» часов на заседании диссертационного совета Д 55.36.01 при Институте зоологии МОН РК по адресу: 050060, Алматы, Академгородок, пр. аль-Фараби, 93.

Факс 8 (727).269-48-70

e-mail: institut_zoology@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института зоологии КН МОН РК по адресу: 050060, Алматы, Академгородок, пр. аль-Фараби, 93.

Автореферат разослан «22» «июня» 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук

 Д.М. Жатканбаева

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы. Диссертационная работа посвящена исследованию закономерностей формирования структуры зоопланктонных сообществ в естественных и антропогенно трансформированных водоемах и водотоках Казахстана.

Актуальность темы. Зоопланктон, наряду с фитопланктоном и зообентосом, играет ключевую роль в функционировании гидроценозов. Он является важным звеном в трофических цепях водных экосистем и принимает непосредственное участие в процессах биологической очистки воды, способствуя улучшению ее качества.

Естественные и антропогенные сукцессии водоемов сопровождаются изменениями структуры зоопланктонных сообществ: разнообразия, состава и числа доминирующих видов, численности, биомассы, размерно-массового показателя, соотношения таксономических и трофических групп. Весомый вклад в изучение структурно-функциональной организации зоопланктона пресных и ультрапресных озер гумидной зоны вносят работы А.М. Гилярова и Т.А. Гореловой [1974], М.Б. Ивановой [1978], Н.М. Крючковой [1987]. На основе выявленных закономерностей распределения зоопланктона в озерах разных трофических уровней показана индикаторная роль этого сообщества в диагностике стадии сукцессионного развития лимнических экосистем гумидной зоны [Андроникова, 1996].

Гидробиологические исследования водоемов Казахстана ведутся на протяжении более 70 лет. К настоящему времени накоплен большой фактический материал по видовому составу, количественным, продукционным характеристикам и роли зоопланктона в питании рыб пресных и минерализованных водоемов [Малиновская, 1969; Диканская, 1972; Киселева, 1997; Шарапова, 2002; Трошина, 2007; Стуге, 2008]. Описаны особенности формирования гидроценозов крупных водохранилищ с момента их заполнения [Малиновская, Тэн, 1983]. Обобщены сведения по фауне веслоногих [Доброхотова, 1979], ветвистоусых [Ибрашева, Смирнова, 1983], коловраток [Трошина, 2003], зоопланктону минерализованных водоемов Северного Казахстана [Стуге, 1995], оз. Балкаш [Стуге, Трошина, 2003].

Вместе с тем ряд ключевых проблем остается не затронутым вниманием исследователей. Одной из важнейших является выяснение закономерностей формирования структуры сообществ гидробионтов в водоемах аридной зоны, к которой относится значительная часть территории Казахстана. Особую теоретическую и практическую значимость решение данной проблемы имеет в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов и многокомпонентного состава поступающих загрязняющих веществ, что обуславливает необходимость поиска и привлечения выявленных закономерностей для целей биоиндикации состояния водных экосистем.

На современном этапе взаимоотношений «человек–окружающая среда» проблема антропогенного евтрофирования осложняется повсеместным токсическим загрязнением водоемов, следствием которого является угнетение

процессов естественного самоочищения и переход экосистем в неустойчивое состояние, крайним проявлением которого может быть их полная деградация [Матишев и др., 2003]. Классификация водоемов по уровню токсической загрязненности была предложена Л.П. Брагинским [1985]. На основе анализа литературных данных составлен перечень показателей, характеризующих ответные реакции сообществ в ответ на токсическое воздействие [Андроникова, 1996]. Однако решение данной проблемы в силу ее сложности и многоплановости еще далеко до завершения [Моисеенко, 2008].

Известно, что устойчивость водных экосистем определяется не только характером и интенсивностью внешних воздействий, но и особенностями самих водоемов (географическим положением, химическим составом вод, морфометрией, температурным режимом). Поэтому ответная реакция гидробионтов на действие токсических веществ в водоемах Казахстана, с учетом их физико-географических, климатических и гидрохимических характеристик, может значительно отличаться от структурных перестроек сообществ под воздействием антропогенной нагрузки на пресные и ультрапресные водоемы гумидной зоны, для которых и была предложена упомянутая выше классификация. В связи с этим очевидна необходимость проведения подобных исследований на водоемах разного типа.

Цель и задачи исследования. Целью работы являлось выявление закономерностей формирования структуры зоопланктонных сообществ в водоемах и водотоках Казахстана, различающихся физико-химическими, гидрологическими характеристиками, степенью биогенного, токсического и смешанного загрязнения.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1 Исследовать разнообразие зоопланктона и динамику количественных показателей фоновых видов в зависимости от гидрохимических показателей.

2 Изучить влияние гидрологического режима водоемов на количественные показатели зоопланктона.

3 Исследовать структуру доминирования видов в зоопланктонных сообществах и ее связь с факторами среды.

4 Изучить половую структуру и частоту встречаемости особей с морфологическими отклонениями в популяциях веслоногих ракообразных и связь этих показателей с экологическим состоянием водных экосистем.

5 Дать сравнительную характеристику зоопланктона пресных водоемов и водотоков.

6 Дать сравнительную характеристику зоопланктона минерализованных водоемов.

7 Разработать критерии и выработать рекомендации для оценки по структурным показателям зоопланктона экологического состояния водоемов и водотоков Казахстана.

Методы исследований – гидробиологические, статистические. Основным методологическим подходом является системный, рассматривающий зоопланктон на уровне сообщества, популяций фоновых видов и отдельных особей в естественных и антропогенно нарушенных условиях среды.

Научная новизна. Описаны новый для науки (*Gigantodiptomus sp. nova*) и новые для региона (*Neodiptomus schmakeri*, *Mesocyclops ogunnus*) виды планктонных ракообразных. Впервые показаны изменения численности фоновых видов зоопланктеров в градиентах минерализации воды, концентраций фосфора общего и тяжелых металлов.

Исследованы закономерности распределения зоопланктона и популяций доминирующих видов по акваториям озер Балкаш и Алаколь. Впервые установлено, что представленность видов в зоопланктонных сообществах этих озер определяется не только величиной минерализации воды, но и соотношением отдельных ионов, в первую очередь, K^+/Na^+ и Ca^{2+}/Mg^{2+} . Впервые показано, что *Daphnia galeata* относится к группе видов Cladocera, обладающих повышенной устойчивостью к солям магния.

Выявлено наличие нескольких типов зависимости межгодовой динамики численности зоопланктона от гидрологического режима водоемов. Впервые установлено, что смена типов структуры доминирования видов при изменении внешних условий происходит за счет перераспределения доминирующей роли между ветвистоусыми и веслоногими ракообразными.

Впервые показано, что нарушения половой структуры и наличие уродливых особей в популяциях веслоногих являются ответной реакцией на хроническое токсическое загрязнение водных экосистем.

Выявлено, что одним из факторов, оказывающих влияние на динамику разнообразия зоопланктона по индексу Шеннона-Уивера при усилении биогенной нагрузки на пресные водоемы, является температура.

Установлено, что органическое загрязнение водоемов в сочетании с токсическим способствует формированию сообществ с более низким средним разнообразием по Шеннону-Уиверу, чем при соответствующем уровне биогенной нагрузки. Одним из признаков токсического загрязнения водоисточников является усиление размаха колебаний структурных показателей зоопланктона.

Установлено, что при увеличении суммарного содержания растворенных солей до 60-70 г/дм³ биомасса зоопланктона возрастает за счет усиления доминирующей роли ракообразных. Показано наличие двух максимумов разнообразия зоопланктона в градиенте минерализации воды.

Впервые разработаны критерии диагностики и выработаны рекомендации для оценки по структуре зоопланктона характера и интенсивности загрязнения водоемов Казахстана. Установлено, что структура зоопланктонных сообществ показательна не только при диагностике органического, но и комплексного загрязнения водных экосистем, а также при залповых выбросах токсических веществ.

Теоретическая и практическая значимость. До настоящего времени для аридной зоны, которая включает не только Казахстан, но и обширные территории сопредельных стран Средней Азии, закономерности формирования структуры зоопланктонных сообществ под влиянием факторов среды не были исследованы. Результаты настоящей работы, описывающие эти закономерности, а также демонстрирующие сходство и отличия структурных

показателей зоопланктоценозов водоемов аридной и гумидной зон, в значительной степени восполняют этот пробел.

Теоретическим вкладом в общебиологические науки – гидробиологию и экологию – является установленный нелинейный характер изменения количественных показателей и разнообразия зоопланктона по Шеннону-Уиверу под влиянием антропогенной нагрузки, а также при увеличении минерализации воды.

Исследования динамики численности фоновых видов ракообразных в градиенте факторов среды и половой структуры популяций веслоногих развивают популяционное направление в зоологии, экологии, гидробиологии. Показана эффективность применения гипотезы дифференцированной специализации полов В.А. Геодакяна для объяснения нарушения половой структуры популяций веслоногих в условиях токсического загрязнения водоемов. Получил развитие метод Р. Уорвик (R. Warwick), позволяющий оценить изменения внутренней структуры зоопланктона под влиянием абiotических факторов различной природы.

В условиях существенных колебаний уровня воды в водоемах Казахстана теоретическое и практическое значение имеют выявленные зависимости межгодовой и межсезонной динамики количественных показателей зоопланктона от гидрологического режима пресных и минерализованных водоемов, а также связь этих показателей с температурным режимом, интенсивностью и характером антропогенного воздействия на водные объекты.

Общебиологической теоретической и прикладной проблемой, до конца не разработанной не только в Казахстане, но и в других регионах, является реакция сообществ в ответ на токсическое загрязнение водоемов. Наши результаты (неоднозначность изменения разнообразия сообществ, усиление размаха колебаний структурных показателей, наличие уродств как надежный критерий диагностики токсического загрязнения, выделение отличительных признаков сообществ, развивающихся в токсических условиях) вносят вклад в развитие экотоксикологического направления в гидробиологии, находящегося в тесной связи с зоологией, гидрологией, гидрохимией.

Практическая значимость полученных результатов определяется возможностью использования выявленных закономерностей для биоиндикации органического и токсического загрязнения водных объектов, разработки научных основ рационального использования и охраны биологических ресурсов пресных вод, оценки и прогноза потенциальной рыбопродуктивности экологически разнотипных водоемов Казахстана. Результаты настоящей работы успешно применялись для оценки экологического состояния и качества воды водоемов антропогенно трансформированных территорий Центрального, Юго-восточного Казахстана, территорий ракетно-космического комплекса, зоны Семипалатинского испытательного полигона, оценки и прогноза последствий ликвидации накопителя сточных вод «Талдыколь» и их сброса в р. Нуру. Результаты настоящей работы могут быть использованы в лекционных курсах вузов биолого-экологического направления.

Положения, выносимые на защиту:

1 Выявлены оптимальные условия обитания фоновых видов ракообразных (*Daphnia galeata*, *Diaphanosoma lacustris*, *Cyclops vicinus*, *Thermocyclops crassus*, *Mesocyclops leuckarti*, *Acanthocyclops trajani* и *Arctodiaptomus salinus*) по отношению к минерализации, химическому составу воды, содержанию биогенных элементов и тяжелых металлов.

2 Характер связи межгодовой динамики численности зоопланктона от гидрологических условий определяется температурным и гидрохимическим режимами водоемов.

3 Графическое представление структуры доминирования видов отражает внутренние перестройки зоопланктонных сообществ при изменении абиотических факторов.

4 Изменение половой структуры в сторону преобладания самцов и появление уродливых особей в популяциях веслоногих является ответной реакцией на хроническое токсическое загрязнение водных экосистем.

5 В пресных озерах и водохранилищах формирование структуры зоопланктона определяется как характером и интенсивностью внешних воздействий, так и температурным режимом, при нелинейном изменении количественных показателей и разнообразия сообществ. Основное влияние на зоопланктон зарегулированных водотоков оказывают скорость течения воды, уровень развития сообществ в водохранилищах, интенсивность и характер загрязнения, наличие связи с пойменными озерами.

6 В минерализованных водоемах при увеличении суммарного содержания растворенных солей до 60-70 г/дм³ биомасса зоопланктона возрастает за счет усиления доминирующей роли ракообразных. Разнообразие сообществ при увеличении минерализации воды изменяется нелинейно.

7 Разработаны критерии диагностики и выработаны рекомендации для оценки по структуре зоопланктона качества водной среды и характера загрязнения водоемов Казахстана.

Апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на республиканском научно-практическом совещании «Проблемы охраны и рационального использования биологических ресурсов водоемов Узбекистана» (Ташкент, 2001); международной конференции «Зоологические исследования в Казахстане» (Алматы, 2002); Всероссийской конференции с участием специалистов из стран ближнего и дальнего зарубежья «Современные проблемы водной токсикологии» (Борок, 2002); международной конференции «8th International Conference of Copepoda» (Taiwan, Keelung, 2002); международной конференции «Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Республики Казахстан, Сибири, Монголии, Кыргызстана» (Барнаул, 2005); международной конференции «International Ocean Sciences Meeting» (Honolulu, 2006); международной конференции «Great Rivers and World Civilizations» (Астрахань, 2006); международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем» (Санкт-Петербург, 2006); международной конференции «Биологическое разнообразие азиатских степей» (Кустанай, 2007);

международной конференции «Биоразнообразие животного мира Казахстана, проблемы сохранения и использования» (Алматы, 2007); международной конференции «Актуальные вопросы изучения микро-, мейзообентоса и фауны зарослей пресноводных водоемов» (Борок, 2007); всероссийской школе-конференции «Ветвистоусые ракообразные: систематика и биология» (Борок, 2007); международной конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования в Казахстане и сопредельных территориях» (Павлодар, 2007); международной конференции «Актуальные проблемы биоэкологии» (Москва, 2008); Всероссийской конференции по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флёрова «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы» (Борок, 2008); международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию КазНУ им. аль-Фараби «Биологическое разнообразие и устойчивое развитие природы и общества» (Алматы, 2009).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 59 работ.

Связь работы с другими НИР, государственными и международными программами. Работа выполнена в рамках программ фундаментальных исследований ДГП «Институт зоологии» ЦБИ МОН РК и НПЦ рыбного хозяйства «Оценка состояния фаунистических комплексов и популяций животных в условиях антропогенной трансформации зооценозов в Центральном Казахстане» «Популяции и сообщества наземных и водных животных в условиях радиационного и техногенного загрязнения среды обитания», «Изучение роли животных, почвы, гидрологического режима в формировании и трансформации экосистемы степь», «Совершенствование принципов управления рыбными ресурсами», «Экологический мониторинг, разработка путей сохранения биоразнообразия и устойчивого использования ресурсов рыбопромысловых водоемов трансграничных бассейнов (№№ госрегистрации 0106РК00403, 0103РК00166, 0100РК00291, 0106РК00610, 0101РК00134), Проекта Глобального Экологического Фонда (GEFUNDP) «Комплексное сохранение приоритетных глобально значимых водно-болотных угодий как мест обитания мигрирующих птиц: демонстрация на трех территориях».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания материала и методов, четырех разделов собственных исследований, заключения, списка литературы, включающего 344 источника, и девяти приложений. Работа изложена на 251 странице, иллюстрирована 84 рисунками и 100 таблицами. В приложения вынесены 39 рисунков и 55 таблиц.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Литературный обзор

Дается обзор гидробиологических исследований водоемов Казахстана. Обобщаются сведения по источникам и характеру загрязнения водоисточников. Обсуждается роль зоопланктона в системе биологической индикации качества среды и экологического состояния водных экосистем.

2 Материалы и методы исследований

Сборы зоопланктона осуществляли летом 2000-2009 гг. Всего собственными исследованиями охвачено 48 разнотипных водных объектов Северного, Центрального, Восточного и Южного Казахстана. Общее число обработанных проб зоопланктона составило 1303. Сбор и обработку материала проводили общепринятыми методами [Винберг, Лаврентьева, 1984]. Для характеристики структуры зоопланктона определяли общее и среднее число видов на пробу, величину средней индивидуальной массы особи, состав и число доминирующих видов, долю групп и отдельно долю циклопов в численности и биомассе зоопланктона [Андроникова, 1996], соотношение полов и долю особей с отклонениями в морфологии в популяциях веслоногих. Выделение доминирующих видов проводили по шкале Любарского [Баканов, 2005]. Графики структуры доминирования видов строили согласно Р. Уорвик [Warwick, 1986]. Разнообразие зоопланктона оценивали по индексу Шеннона-Уивера (бит/экз, бит/мг) [Мэггаран, 1998]. Для описания многолетней динамики зоопланктона привлечены фондовые материалы Института зоологии и Института рыбного хозяйства, опубликованные в соавторстве с исполнителями.

Для характеристики среды обитания гидробионтов на гидрохимический анализ и содержание тяжелых металлов отобрано 633 пробы воды. Анализ воды выполнен в лаборатории гидробиологии и экотоксикологии РГП «Институт зоологии», Балкашском филиале РГП «Институт рыбного хозяйства», аккредитованной лаборатории Центра лабораторного обеспечения гидрохимических исследований «Экогидроаналитик». Сведения по химическому составу и содержанию загрязняющих веществ в воде некоторых водоемов предоставлены КазГидрометом. Использованы также опубликованные данные [Амиргалиев и др., 1995; 2003-2007; Бурлибаев и др., 2005; Справка о состоянии окружающей среды, 1995; 2006; 2007 и др.].

Для сравнительного анализа, помимо собственных данных, привлечены опубликованные сведения по зоопланктону 30 водоемов. При сравнительном анализе водоемы были разделены на четыре категории – морфометрически олиготрофные (МО, глубины более 15 м), морфометрически мезотрофные (ММ, глубины 6-10 м), морфометрически эвтрофные 1, слабо зарастающие (МЭ, глубины менее 5,0 м) и морфометрически эвтрофные 2, сильно зарастающие (МЭ_{зр}, глубины 1,0-3,0 м). По уровню антропогенной нагрузки выделены: слабо загрязненные (отсутствуют организованные источники загрязнения, ненарушенный водосбор), умеренно загрязненные (отсутствуют организованные источники загрязнения, нарушенный водосбор), повышено загрязненные (нарушенный водосбор, периодические сбросы из организованных источников), сильно загрязненные (постоянные сбросы из организованных источников) водоемы.

Коэффициенты корреляции между численностью организмов и факторами среды рассчитаны с помощью программы “Statistica 7”. При несоответствии эмпирических рядов данных нормальному распределению проводили их преобразование по формулам [Максимович, Погребов, 1986] или использовали непараметрические методы. Достоверность значений коэффициента

корреляции и различий средних значений оценивалась по критерию Стьюдента при $p < 0,05$ и $p < 0,01$ [Лакин, 1990].

3 Экологическая ситуация и гидрохимический режим водоемов

Приводятся физико-географическая, гидрохимическая, токсикологическая, гидрологическая характеристики исследованных водоемов. Показано, что большинство водоемов Казахстана подвергается комплексному загрязнению веществами органической и токсической природы. Низкими концентрациями тяжелых металлов характеризуется вода горных и предгорных озер. Противоположную категорию водоемов, испытывающих наиболее интенсивную антропогенную нагрузку, составляют накопители сточных вод, озеро Балкаш, водохранилища Самаркан и Бнтымакское.

4 Структурные характеристики зоопланктона

Приводятся сведения по видовому составу, численности, биомассе, соотношению таксономических групп, составу и численности доминирующих видов, разнообразию по индексу Шеннона-Уивера, структуре доминирования видов, половой структуре, наличию в популяциях веслоногих уродливых особей, размерно-массовой структуре зоопланктона 34 озер, 12 водохранилищ, рек Сырдария и Нура. Анализируются данные по распределению зоопланктона и популяций фоновых видов в зависимости от минерализации и химического состава воды (оз. Балкаш, Алаколь, Васильевский и Сарбайский накопители), содержания тяжелых металлов (оз. Балкаш, водохранилища Самаркан, Шардаринское, р. Сырдария), а также многолетняя динамика зоопланктона озер (Алаколь, Сасыкколь, Кошкарколь, Балкаш, Кульсай Нижний, Кульсай Средний, Кульсай Верхний, Кульсай под перевалом Сары-Булак) и водохранилищ (Шардаринское, Самаркан) в зависимости от гидрологического режима, минерализации воды и уровня антропогенной нагрузки.

5 Сравнительная характеристика зоопланктона водоемов Казахстана

5.1 Общая характеристика видового разнообразия

Для водоемов Казахстана установлено 455 видов планктонных беспозвоночных, из которых Rotifera – 244, Cladocera – 136, Cyclopoida – 46, Calanoida – 29. Для фауны Казахстана впервые описаны *Neodiptomus schmakeri* (Copepoda, Calanoida), *Mesocyclops ogunnus* (Copepoda, Cyclopoida), для науки – *Gigantodiptomus sp. nova* (Copepoda, Calanoida).

В региональном отношении наиболее своеобразна фауна водоемов Южного Казахстана. Наряду с северными видами (*Notholca acuminata*, *Filinia terminalis*, *Polyarthra luminosa*, *Daphnia galeata*, *D. longispina*, *Leptodora kindtii*, *Megafenestra aurita*, *Mesocyclops leuckarti*), широкое распространение здесь имеют представители тропической фауны (*Keratella tropica*, *K. cochlearis tecta*, *Brachionus falcatus*, *Diaphanosoma lacustris*, *Daphnia magna*, *Macrothrix spinosa*, *Moina micrura*, *Phyllodiptomus blanci*, *Thermocyclops taihokuensis*, *T. rylovi*). Характерно значительное разнообразие родов *Brachionus*, *Keratella*, *Thermocyclops* (*T. crassus*, *T. taihokuensis*, *T. rylovi*, *T. fermifer*, *T. oithonoides*, *T.*

dybowskii), *Mesocyclops* (*M. aspericornis*, *M. leuckarti*, *M. ogunmus*, *M. pehpeiensis*), *Acanthocyclops* (*A. biarticulatus*, *A. einselei*, *A. trajani*, *A. vernalis*) и отряда Calanoidea (*Eudiaptomus graciloides*, *Acanthodiaptomus denticornis*, *Phylodiaptomus blanci*, *Neodiaptomus schmakeri*, *Neurodiaptomus incongruens*, *Sinodiaptomus sarsi*, *Arctodiaptomus salinus*, *A. bacillifer*). В составе зоопланктонных сообществ, а иногда и доминантных комплексов могут одновременно присутствовать несколько видов рода *Thermocyclops* или отряда Calanoidea.

С продвижением к северу и востоку разнообразие *Thermocyclops* сокращается до четырех (*T. crassus*, *T. rylovi*, *T. oithonoides*, *T. dybowskii*), *Mesocyclops* и *Acanthocyclops* – до одного вида в каждом роде (*M. leuckarti*, *A. trajani*). Наряду с широко распространенной *Bosmina longirostris*, появляются северные виды *B. kessleri*, *B. obtusirostris*, а также крупные Calanoidea – *Metadiaptomus asiaticus*, *Hemidiaptomus ignatovi*, *Gigantodiaptomus amblyodon*, *Gigantodiaptomus sp.*, *Arctodiaptomus naursumensis*.

Зоопланктон водоемов Центрального Казахстана, географически занимающих промежуточное положение, представлен преимущественно эвритопными и широко распространенными видами.

5.2 Фоновые виды

Исследовано распределение численности фоновых видов ракообразных в зависимости от факторов среды. Установлено, что *Daphnia galeata*, *Diaphanosoma lacustris*, *Thermocyclops crassus*, *Mesocyclops leuckarti* выносятся суммарное содержание растворенных солей до 5,9 г/дм³. *Acanthocyclops trajani* не встречается в водах с минерализацией более 3,0 г/дм³. Для эвригаллиных *Cyclops vicinus* и *Arctodiaptomus salinus* оптимальны величины показателя до 2,5-3,0 г/дм³ и от 4,0 до 20,0 г/дм³, соответственно. На примере озер Балкаш и Алаколь показано, что в условиях повышенной минерализации воды на распространение и количественные показатели планктонных животных влияет состав солей. Выявлено снижение численности популяций фоновых видов и всего зоопланктона оз. Балкаш при росте величины отношения K^+/Na^+ свыше 0,067-0,080. Установлено, что *D. galeata*, в отличие от других видов пресноводных клadoцер, предпочитает воды с повышенным содержанием магния, чем обусловлено существенное увеличение численности ее популяции в восточной минерализованной части озера Балкаш, по сравнению с западной опресненной.

По отношению к фосфору общему, *D. galeata* населяет как чистые, так и загрязненные озера и водохранилища. *D. lacustris* и *T. crassus* предпочитают водоемы с концентрациями фосфора до 0,05 мг/дм³, *M. leuckarti* – до 0,09, *A. trajani* и *C. vicinus* – свыше 0,10 мг/дм³.

Среди представителей Cladocera, считающихся наиболее чувствительными к токсическому загрязнению, *D. galeata* и *D. lacustris* могут достигать значительного обилия при сравнительно высоких концентрациях тяжелых металлов в воде – до 0,03-0,06 мг/дм³. Виды Cyclopoidea являются высоко резистентными к токсическим агентам, однако, в условиях длительного

загрязнения водоемов тяжелыми металлами в их популяциях постоянно присутствуют уродливые особи. Выявлены достоверные положительные корреляции между долей уродливых особей в популяциях *A. trajani* и концентрациями меди ($R=0,647$, $p<0,001$), а также суммарным содержанием цинка, меди, кадмия, свинца ($R=0,543$, $p<0,05$); между долей уродливых особей *C. vicinus* и концентрациями цинка ($R=0,516$, $p<0,05$), кадмия ($R=0,611$, $p<0,05$), суммарным содержанием тяжелых металлов ($R=0,509$, $p<0,05$).

5.3 Новые виды

Приводятся оригинальные рисунки и описания половозрелых особей нового для науки (*Gigantodiptomus sp. nova*) и новых для Казахстана (*Neodiptomus schmakeri* Poppe et Richard, *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro) видов ракообразных.

5.4 Структура зоопланктонных сообществ и половая структура популяций веслоногих

5.4.1 Межгодовая и межсезонная динамика количественных показателей зоопланктона

Выявлено два типа межгодовой зависимости между численностью зоопланктона и гидрологическим режимом пресных водоемов Казахстана: обратная связь для горных холодноводных озер, имеющих ледниковое питание, и прямая для равнинных тепловодных озер и водохранилищ, находящихся в зоне антропогенного воздействия. С учетом данных по межгодовой динамике биогенных элементов сделан вывод, что обратная зависимость между численностью зоопланктона и уровнем воды горных озер Казахстана обусловлена преимущественно автохтонным происхождением фосфора. При незначительном количестве биогенных элементов, поступающем в горные озера с территории ненарушенных водосборов и водой рек, их накопление происходит за счет недоиспользования бактериопланктоном и фитопланктоном в условиях низких температур и короткого вегетационного сезона. Аналогичная динамика численности зоопланктона при изменении гидрологических условий характерна для водоемов гумидной зоны [Померанцева, 2002; Двуреченская, 2002]. В отличие от водоемов гумидной зоны и горных озер Казахстана, между численностью зоопланктона и уровнем воды равнинных озер и водохранилищ отмечается прямая связь, обусловленная преимущественно аллохтонным поступлением фосфора при сравнительно полном его использовании в условиях длительного вегетационного сезона и высоких температур воды.

На примере озера Балкаш показано, что в солоноватых водоемах отсутствие линейной зависимости между уровнем воды и численностью зоопланктона связано с разнонаправленным изменением обилия входящих в сообщество видов. В условиях высокой водности и снижения минерализации воды численность умеренно эвригалинных видов повышается, более соленелюбивых – снижается. Наличие обратной зависимости величины биомассы зоопланктона от уровня воды ($R=-0,542$, $p<0,05$) обусловлено изменениями размерной структуры сообщества за счет усиления доминирования в

многоводные годы сравнительно мелких *Diaphanosoma lacustris*, *Thermocyclops crassus*, *Mesocyclops leuckarti*, в маловодный период – более крупного *Arctodiaptomus salinus*.

В гипергалинных водоемах, с минерализацией воды более 35 г/дм³, отсутствие линейной зависимости между гидрологическим режимом и численностью зоопланктона объясняется кардинальными перестройками структуры сообществ. Наиболее высокая численность планктонных беспозвоночных отмечается в условиях средней водности, когда высокого обилия достигают как галофил *Moina mongolica*, так и эвригалинные *Chydorus sphaericus*, *Alona rectangula*, *Cletocamptus retrogressus*, *Arctodiaptomus salinus*. Максимальные величины биомассы сообщество формирует при низком уровне и высокой минерализации воды за счет доминирования *Artemia* sp.

В пресных равнинных водоемах динамика зоопланктона от начала к концу биологического лета характеризуется повышением численности (экологической плотности, по: [Одум, 1981]) в условиях снижения уровня воды, при незакономерном изменении величины биомассы. Наличие такой зависимости можно объяснить ростом биомассы фитопланктона за счет повышения температуры придонного слоя и стимуляции регенерации биогенных веществ из грунтов в воду, а также концентрированием организмов в меньшем объеме воды.

5.4.2 Структура доминирования видов

Основную роль в гидроценозах играют всего несколько наиболее многочисленных видов, определяющих межгодовую и межсезонную динамику численности и биомассы. Соответственно доле в количественных показателях сообществ, выделяют доминирующие и второстепенные виды. Другим подходом к анализу структуры гидроценозов может быть построение графиков ранговых распределений видов, получивших название «структуры доминирования видов» [Баканов, 2005]. Р. Уорвик [Warwick, 1986] на основе изучения морского бентоса сделал вывод, что в нормальных условиях обитания донных организмов кривые биомассы, построенные на основе ранговых распределений видов, проходят выше кривых численности. При умеренном стрессе кривые располагаются близко друг к другу, при сильном стрессе кривые численности проходят выше кривых биомассы.

Нами на основе анализа более 100 графиков выделено шесть типов структуры доминирования видов в зоопланктонных сообществах: 1. кривые биомассы проходят выше кривых численности на значительном расстоянии друг от друга ($B > Ч$); 2. наблюдается их сближение ($B \geq Ч$); 3. кривые биомассы проходят параллельно кривым численности, но не совпадают ($B = Ч$); 4. полное совпадение кривых биомассы и численности ($B = Ч$); 5. кривые численности располагаются выше кривых биомассы ($Ч > B$); 6. кривые численности и биомассы пересекаются ($B \times Ч$). Чаще всего отмечается первый тип структуры доминирования видов. Далее по частоте встречаемости следуют переходные типы (2-4) и реже всего встречаются пятый и шестой.

Не рассматривая видовой состав зоопланктонных сообществ, отдельно для озер и водохранилищ мы соотносили тип доминирования и принадлежность наиболее многочисленного вида (первого по рангу) к основным таксономическим группам – Rotifera, Cladocera, Copepoda, исходя из положения, что при ухудшении внешних условий усиливается доминирование веслоногих, в первую очередь, циклопов. Установлено, что смена типов доминирования с первого на пятый происходит при ослаблении роли ветвистоусых и усилении значения веслоногих (рисунок 1). Пересечение кривых численности и биомассы (шестой тип) отмечается как в условиях смешанного загрязнения (накопители сточных вод), так и при усилении органического загрязнения водоемов (межсезонное и межгодовое снижение уровня воды, повышенная биогенная нагрузка) и характеризует переходные состояния сообществ в нестабильных внешних условиях.

На основании изложенных результатов нами сделан вывод, что структура доминирования видов в зоопланктоне является адекватным отражением условий среды обитания, что может быть использовано в целях биоиндикации экологического состояния водоемов.

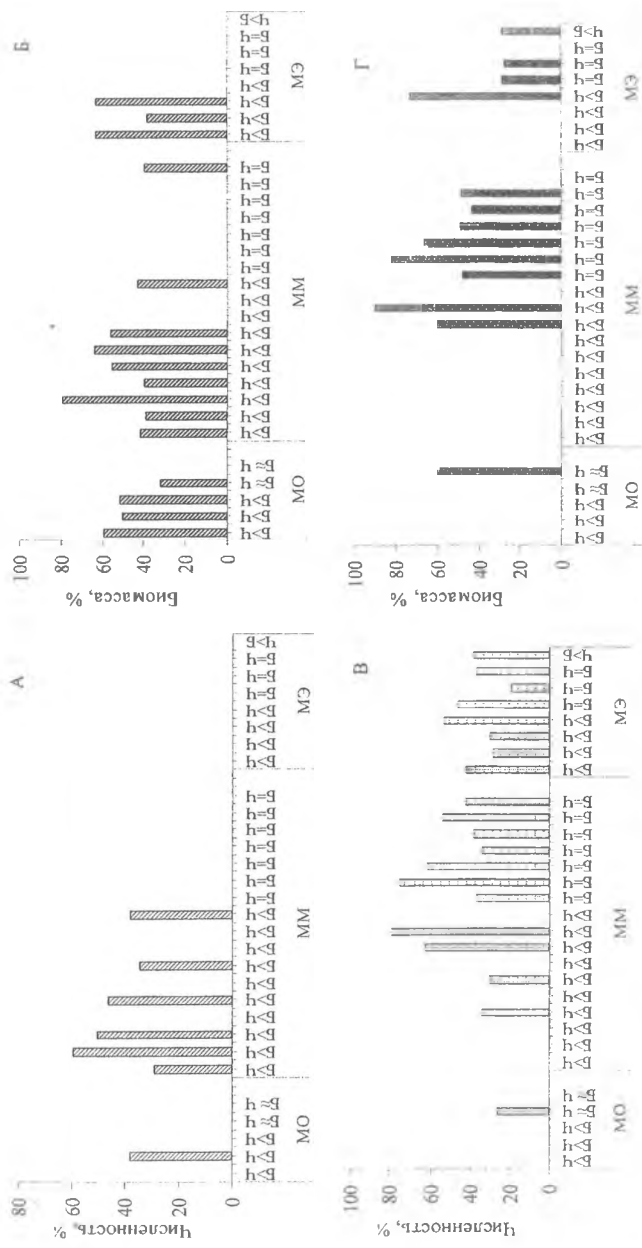
5.4.3 Половая структура популяций веслоногих

Для веслоногих ракообразных в норме характерно равное соотношение полов или преобладание самок [Мещкова, 1975]. Самцы созревают раньше самок, поэтому доминирование особей мужского пола (но не более чем в 2-3 раза) отмечается в начальный период развития популяции [Ривьер, 1986], преобладание самок или равное соотношение полов – в увеличивающихся популяциях [Зимбалевская и др., 1987]. Соотношение полов в потомстве веслоногих зависит от температуры, при которой происходит эмбриональное развитие особей: при низкой температуре доминируют самки, при высокой – самцы (но не более чем в 1,8-2,0 раза) [Монаков, 1965]. На половую структуру популяций водных и околководных животных могут также влиять характер и интенсивность загрязнения [Вершинин, 1996; Пескова, 2000], обеспеченность пищей [Metzler, 1957], выедание рыбой более крупных по размеру самок веслоногих [Гиляров, 1987].

Наши исследования половой структуры популяций 16 видов Copepoda из 39 водоемов выявили, что величина отношения самцов и самок изменяется в пределах от 0,3 до 55,0.

Наиболее выраженным доминированием самцов (в 2,7-55,0 раз) характеризуются популяции *Acanthocyclops trajani* и *Arctodiaptomus salinus* в условиях постоянного смешанного загрязнения среды обитания. Для *A. trajani* выявлена достоверная положительная корреляционная связь ($R=0,78$, $p<0,05$) между величиной отношения самцов и самок и концентрациями фосфора.

Высокие температуры воды исследованных водоемов являются предпосылкой появления большего количества самцов, а благоприятные трофические условия загрязненных водоемов способствуют их дальнейшему успешному выживанию.



МО, ММ, МЭ – морфометрические категории озер; Б>Ч, Б≥Ч, Б=Ч, Ч>Б – типы структуры доминирования видов; А, Б – Cladocera, В, Г – Rotifera.

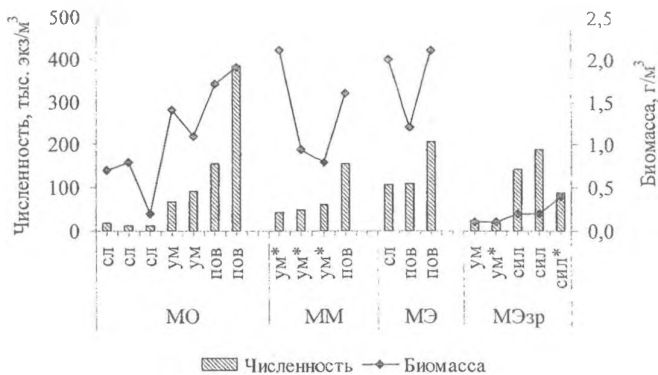
Рисунок 1 – Изменение доли наиболее обильного (первого по рангу) вида в численности и биомассе зоопланктона озер в зависимости от типа структуры доминирования

Однако постоянно отмечаемая непропорционально высокая численность мужских особей веслоногих (до 55 раз) в условиях смешанного загрязнения технических водоемов не может быть связана с естественными причинами (температура воды, обеспеченность пищей, выедание рыбами), к которым популяции водных животных в процессе эволюции приспособились. Выявленное нами соотношение полов в популяциях веслоногих из технических водоемов свидетельствует о существенном превышении рождаемости самцов над смертностью, что не противоречит теории дифференциации полов В.А. Геодакяна [1983] о повышении пластичности популяций в неблагоприятных условиях среды за счет увеличения числа мужских особей. Для Amphibia из загрязненных пестицидами водоемов [Пескова, 2000], в эксперименте при интоксикации фтором *Daphnia magna* в поликультуре с *D. longispina* [Волков и др., 1999] показано смещение половой структуры в сторону преобладания самцов, что увеличивало конкурентоспособность популяций за счет повышения ее разнокачественности. На основании изложенного материала делается вывод, что изменения половой структуры популяций веслоногих в сторону преобладания самцов являются приспособительной реакцией на токсическое загрязнение водоемов.

5.4.4 Сравнительная характеристика зоопланктона разнотипных водных объектов

Пресные водоемы. Сравнительный анализ выявил увеличение количественных показателей зоопланктона (рисунок 2) и снижение величин средней индивидуальной массы особи в зоопланктоне (рисунок 3) при возрастании биогенной нагрузки на экосистемы пресных озер. Средняя величина биомассы зоопланктона горных глубоководных (МО) озер Казахстана ($0,6 \pm 0,2 \text{ г/м}^3$) аналогична таковой сообществ олиготрофных озер гумидной зоны ($0,7 \pm 0,2 \text{ г/м}^3$) [Андроникова, 1996]. Биомасса зоопланктона эвтрофных озер гумидной зоны ($3,6 \pm 0,6 \text{ г/м}^3$) [Андроникова, 1996] при этом выше, чем в исследованных нами (не более $2,0 \text{ г/м}^3$) даже при повышенной биогенной нагрузке. Существенное снижение величины биомассы зоопланктона в мелководных зарастающих озерах (МЭ_{зр}), которые по комплексу показателей отнесены к гиперэвтрофным, позволяют вслед за И.Н. Андрониковой [1996] констатировать ее нелинейное изменение, в отличие от распространенного положения о последовательном увеличении биомассы сообществ в процессе эвтрофирования лимнических экосистем [Китаев, 1986].

Помимо увеличения количественных показателей, в пределах каждой морфометрической категории озер состав доминирующих в зоопланктоне групп меняется с ротаторно-клагоцерного на копеподно-клагоцерный и далее на ротаторно-ротаторный (таблица 1). Закономерная смена состава доминантных комплексов в зоопланктоценозах при усилении антропогенной нагрузки на водные экосистемы нами объясняется с позиций гипотезы о разных сроках вселения гидробионтов в пресные воды [Старобогатов, 1970; Кауфман, 2005].



Здесь и далее: МО, MM, MЭ – морфометрические категории водоемов; сл., ум., пов., сил. – слабый, умеренный, повышенный, сильный уровень антропогенной нагрузки, соответственно; * – наличие токсического загрязнения.

Рисунок 2 – Количественные показатели зоопланктона морфометрически разнотипных озер при различном уровне антропогенной нагрузки

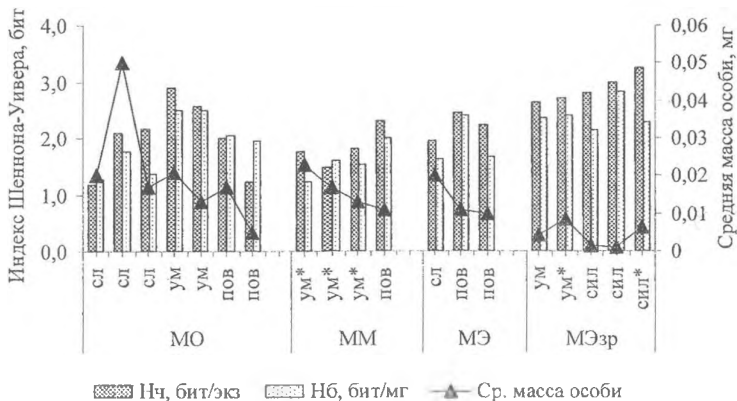


Рисунок 3 – Динамика разнообразия и величины средней массы особи в зоопланктонных сообществах озер при различном уровне антропогенной нагрузки

Таблица 1 – Сравнительная характеристика зоопланктона озер

Морфометрический тип водосема (МО)	Уровень антропогенной нагрузки	численность ¹ биомасса	доминирующая группа	Структурные показатели зоопланктона			тип доминирования видов	♂♂:♀♀ Copepoda
				доминирующие виды ²	Нч Нб	средняя инд. масса, мг		
олиготрофный	слабый	10-20 0,2-0,8	Rotifera Cladocera	1, 5, 8	1,0-2,0 1,4-1,8	0,020-0,050	Б>Ч, Б≥Ч	0,9-3,0
	умеренный	50-100 1,0-1,5	Copepoda Cladocera	2-4, 6	2,5-3,0 2,5-2,7	0,013-0,021	Б=Ч, БХЧ	0,2-3,0
метроф-ный (ММ)	повышенный	100-250 1,5-4,5	Rotifera Cladocera	9, 11, 12	1,7-2,2 1,7-2,4	0,013-0,017	БХЧ, Ч>Б	1,1-1,6
	умеренный*	40-70 0,8-2,1	Copepoda Cladocera	3, 6, 7, 9	1,5-1,8 1,2-1,6	0,015-0,020	Б=Ч	0,4-2,8
эвтроф-ный 1 (МЭ)	повышенный	120-150 1,2-1,5	Copepoda Cladocera	4, 6, 7	2,0-2,3 2,0-2,3	0,011-0,013	Б=Ч	0,6-1,0
	слабый	90-100 1,6-2,0	Rotifera Cladocera	1, 12, 13	1,9-2,0 1,5-1,7	0,020-0,025	Б≥Ч	0,7-0,8
эвтроф-ный 2 (МЭ ₂)	повышенный	150-200 1,8-2,2	Cop/Rot Cladocera	6, 1	1,9-2,2 1,5-1,7	0,010-0,011	Б≥Ч	0,2-0,3
	умеренный*	15-20 0,1-0,2	Rot/Cop Rot/Cop	10, 14	2,3-2,7 2,0-2,4	0,004-0,008	Б=Ч, Б=Ч	отсут- ствуют
эвтрофный 2 (МЭ ₂)	повышенный	90-120 1,0-1,5	Copepoda Cladocera	6, 3, 4	2,4-2,6 2,1-2,6	0,009-0,013	БХЧ	0,2-1,0
	сильный	150-200 0,2-0,3	Rotifera Rotifera	14, 10	2,8-3,0 2,2-2,9	0,001-0,002	Б=Ч	отсут- ствуют
эвтрофный 2 (МЭ ₂)	сильный*	60-90 0,3-0,4	Rotifera Rotifera	10, 14, 15	3,0-3,3 2,2-2,5	0,004-0,006	-	отсут- ствуют

Примечания

1 Здесь и в таблице 2: численность, тыс. экз/м³, биомасса, г/м³, Нч – бит/экз, Нб – бит/мг, ♂♂:♀♀ – отношение численностей самцов и самок в популяциях веслоногих. * – наличие токсического загрязнения водоемов.

2 Цифрами обозначены: 1 – *Daphnia*, 2 – *Ceriodaphnia*, 3 – *Daphnatostraca*, 4 – *Bosmina*, 5 – *Cyclops*, 6 – *Mesocyclops*, 7 – *Thermocyclops*, 8 – *Calanoida*, 9 – *Arctodiaptomus*, 10 – *Cyclopoida*, 11 – *Bdelloida*, 12 – *Kerella*, 13 – *Hexarthra*, 14 – зарослевые виды, 15 – *Acanthocyclops*.

Происходит смена типа доминирования видов с первого-третьего на четвертый-шестой. В начале в общей численности, а затем и в биомассе зоопланктона виды Cladocera уступают первый ранг по обилию Copepoda. В отличие от озер гумидной зоны, для которых показано линейное снижение разнообразия зоопланктона в процессе сукцессионного развития [Андроникова, 1996], в равнинных озерах Казахстана в указанном направлении отмечается увеличение значений индекса Шеннона-Уивера (см. рисунок 3). В глубоководных холодноводных озерах максимальное разнообразие зоопланктона наблюдается при умеренном воздействии, а не при его отсутствии. Таким образом, динамика разнообразия зоопланктона в процессе сукцессионного развития водоемов зависит от температурного режима.

Также как и в озерах, при усилении антропогенной нагрузки и уменьшении глубин водохранилищ (МО→ММ→МЭ) численность и биомасса зоопланктона возрастают (рисунок 4). Интенсивность нарастания показателей достигает максимума в мелководных водохранилищах (МЭ) при отсутствии источников промышленного загрязнения. В технических водоемах (МЭ*) в условиях постоянного комплексного загрязнения более высокие количественные показатели сообществ отмечаются при снижении доли токсической составляющей. Резкое уменьшение численности и биомассы зоопланктона происходит в сильно зарастающих водоемах (МЭ_{сп}).

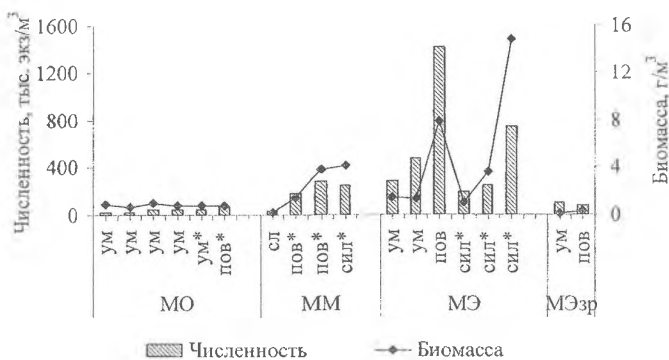


Рисунок 4 – Количественные показатели зоопланктона морфометрически разнотипных водохранилищ при различном уровне антропогенной нагрузки

Интенсивное органическое загрязнение обуславливает более высокие количественные показатели зоопланктона в водохранилищах – $358,8 \pm 118,6$ тыс. экз/м³ и $3,5 \pm 1,2$ г/м³, по сравнению с озерами – $117,2 \pm 33,5$ тыс. экз/м³ и $1,3 \pm 0,2$ г/м³.

При усилении биогенной нагрузки и отсутствии токсического загрязнения динамика величины средней индивидуальной массы особи и разнообразия

зоопланктона по Шеннону-Уиверу в водохранилищах аналогична выявленной в озерах (рисунок 5, А). В условиях смешанного загрязнения описанные тенденции изменения показателей нарушаются (рисунок 5, Б). Зоопланктон характеризуется межгодовой перестройкой своей структуры (таблица 2), более выраженным, чем при органическом загрязнении, размахом колебаний численности и биомассы (4,4-32,2 против 1,2-4,5), значений индекса Шеннона-Уивера (от 0,7 до 3,3 бит), величины средней массы особи.

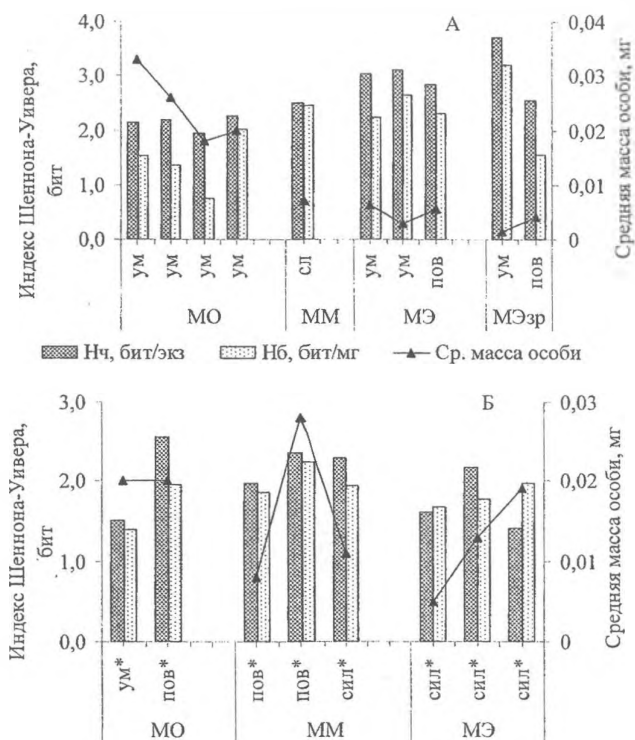


Рисунок 5 – Разнообразие по Шеннону-Уиверу и величина средней массы особи в зоопланктоне при преимущественно органическом (А) и смешанном (Б) загрязнении водохранилищ

Общепризнанное положение о линейной редукции разнообразия зоопланктона при токсическом воздействии на водные экосистемы [Андроникова, 1996] соблюдается только в случае залповых выбросов, сопровождающихся глубокими нарушениями структуры сообществ.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика зоопланктона водохранилищ

Морфометрический тип водоема	Уровень антропогенной нагрузки	численность биомасса	доминирующая группа	доминирующие виды*	Н _Ч НБ	средн. масса особи, мг	тип доминирования видов	численность	
								♂:♀ Copepoda	С. A. Cyclops Tropocyclops
олиготрофный (МО)	умеренный	25-45 0,7-1,0	<u>Rotifera</u> Cladocera	1, 6, 9-11	1,9-2,3 0,8-2,0	0,020-0,030	Б>Ч	0,6-3,0	0-6 0-2
	умеренный*	20-70 0,3-1,2	Copepoda Cladocera	1, 2, 6, 10	0,8-2,2 1,1-1,6	0,010-0,040	Б>Ч	0,5-1,5	0-2
	повышенный*	10-140 0,2-1,2	<u>Rotifera</u> Cladocera	1, 2, 6, 10	2,1-2,7 1,6-2,1	0,009-0,064	Б≥Ч, Б≈Ч, Б<Ч	0,7-7,4	0-6 0-2
мезотрофный (ММ)	слабый	25-40 0,2-0,4	<u>Rotifera</u> Clad Cop	1, 7	2,3-2,5 2,1-2,4	0,004-0,009	БХЧ	1,5-2,7	4,6
	повышенный*	150-300 1,5-4,0	Copepoda Copepoda	1, 2, 6, 10	1,9-2,4 1,8-2,3	0,008-0,030	Б<Ч, БХЧ	0,2-20,8	0-4 0-1
	сильный*	150-650 1,5-9,0	Copepoda Copepoda	1, 2, 7, 8	2,0-2,6 1,8-2,1	0,011-0,012	Б>Ч, ЧХБ	0,7-6,6	70-240
эвтрофный I (МЭ)	умеренный	250-500 1,3-1,4	<u>Rotifera</u> Cladocera	2-4, 5, 10	3,0-3,2 2,2-2,6	0,003-0,006	Б≥Ч	1,0-1,3	0
	повышенный	500-1400 4,8-9,6	<u>Rotifera</u>	6, 10	2,7-2,9 1,5-3,2	0,004-0,007	Б≈Ч	0,9-1,0	0
	сильный*	150-750 3,5-15,0	Cop/Rot Cop/Clad	1, 2, 6-8	1,5-2,2 1,7-2,0	0,005-0,020	Б≥Ч, Б≈Ч, Б<Ч, БХЧ, Ч>Б	2,6-40,0	5-240
эвтрофный 2 (МЭ ²)	умеренный	70-120 0,1-0,2	<u>Rotifera</u> Rotifera	4, 5, 10,12	3,6-3,9 2,8-3,6	0,001-0,002	Б≈Ч	0,6-1,0	0
	повышенный	60-70 0,2-0,4	<u>Rotifera</u> Cladocera	4, 9, 11	2,3-2,8 1,4-1,7	0,003-0,006	Б>Ч	отсутствуют	0

Примечание – Цифрами обозначены: 1 – *Daphnia*, 2 – *Bosmina*, 3 – *Ceriodaphnia*, 4 – *Diaphanosoma*, 5 – *Mesocyclops*, 6 – *Thermocyclops*, 7 – *Cyclops*, 8 – *Acanthocyclops*, 9 – *Calanoida*, 10 – *Asplanchna*, 11 – *Brachionus*, 12 – *Hexarthra*.

При угнетении преимущественно доминирующих видов за счет усиления выравненности оставшихся значения индекса Шеннона-Уивера могут возрастать до 2,99-3,33 бит/экз или бит/мг. В условиях длительного смешанного загрязнения исследованных водных экосистем поддержанию разнообразия зоопланктона на умеренном уровне (1,5-2,0 бит-экз, бит/мг) способствует сопутствующее поступление органических соединений, а также повышенные минерализация и жесткость воды, снижающие ядовитые свойства токсикантов. Устойчивость сообществ в водоемах Казахстана связана также с составом доминирующих комплексов, представленных преимущественно эврибионтными видами, предшественниками палеолимнического комплекса.

Характерным компонентом летнего зоопланктона в сильно загрязненных условиях являются циклопы *Cyclops vicinus* и *Acanthocyclops trajani*, численность которых, особенно половозрелых особей, при усилении антропогенной нагрузки существенно возрастает (см. таблицу 2). В популяциях вислоногих усиливается доминирование самцов.

Сравнение зоопланктона зарегулированных рек Сырдария, Иле и Нура показывает, что численность организмов в среднем течении в 3,0-4,7 раз ниже, но того же порядка, что и в соответствующих водохранилищах. Максимальная численность планктонных беспозвоночных отмечается в р. Нура (110,9±50,5 тыс. экз/м³), с невысокой скоростью течения воды (менее 0,5 м/сек). При одинаковых скоростях течения (около 1,1 м/сек), численности зоопланктона рек Иле и Сырдарии близки – 17,6-22,0 тыс. экз/м³. Величина биомассы зоопланктона максимальна в р. Сырдарии (1,5±1,0 г/м³), где доминируют крупные *Daphnia*. Минимальную биомассу (0,3±0,1 г/м³) формирует сообщество р. Нуры за счет лидирующей роли коловраток и циклопов. Промежуточное положение по этому показателю (0,6±0,4 г/м³) занимает р. Иле, с доминантами как средних и мелких (*Diaphanosoma*, *Ceriodaphnia*, *Bosmina*, *Cyclopoida*), так и крупных размеров (*Daphnia*).

На нижних участках рек на состав и количественные показатели зоопланктона влияют снижение скорости течения воды, связь с пойменными озерами, наличие дополнительных источников загрязнения. В р. Сырдарии, при превалировании сельскохозяйственного загрязнения и увеличении минерализации воды, численность зоопланктона на нижнем участке возрастает от 22,0±8,2 до 104,4±16,4 тыс. экз/м³, при одновременном снижении величины биомассы от 1,5±1,0 до 0,5±0,1 г/м³ и сохранении ведущей роли ветвистоусых. В р. Иле зоопланктон среднего и нижнего течения близок по составу и обилию. В нижнем течении Нуры, после прохождения через Коргалжынские озера с невысоким обилием зоопланктона, численность и биомасса планктонных организмов снижаются на порядок – до 32,9±11,1 тыс. экз/м³ и 0,030±0,003 г/м³, при аналогичном составе доминирующих видов.

В направлении от средних к нижним участкам рек величина средней индивидуальной массы зоопланктона уменьшается (в р. Сырдария от 0,049 до 0,005 мг, в р. Иле от 0,035 до 0,028 мг, в р. Нура от 0,0030 до 0,0015 мг), что свидетельствует об усилении процессов евтрофирования.

Исследования распределения зоопланктона по продольному профилю р. Сырдарии показывают, что изменения его структуры адекватно отражают влияние внешних факторов. На загрязненных участках усиливается доминирование циклопов, из состава сообщества выпадают или резко сокращают численность ветвистоусые и коловратки, снижается численность половозрелых особей веслоногих. В условиях прерывистого токсического загрязнения увеличивается амплитуда колебаний количественных показателей и разнообразия зоопланктона по Шеннону-Уиверу, меняется тип структуры доминирования видов. При преобладании органического загрязнения водотока зоопланктон более однороден по своей структуре на всем протяжении исследованного участка, при близком составе доминантных комплексов, структуре доминирования видов, слабо выраженных колебаниях количественных показателей и значений индекса Шеннона-Уивера.

На основании изложенных результатов можно сделать вывод, что на структуру зоопланктона зарегулированных рек влияют скорость течения воды, характер и интенсивность загрязнения, уровень развития сообществ в водохранилищах, связь с пойменными озерами.

Минерализованные водоемы. При повышении минерализации воды до $60-70 \text{ г/дм}^3$ величина биомассы озерного зоопланктона возрастает (рисунок 6), при аналогичной тенденции изменения численности. Дальнейший рост суммарного содержания растворенных солей обуславливает снижение количественных показателей всех групп, входящих в сообщество.

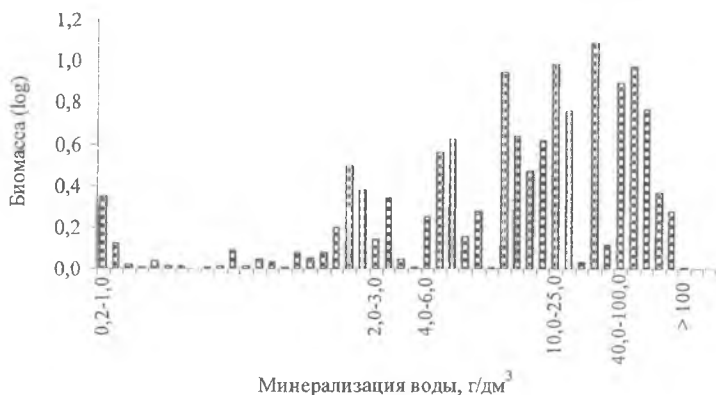


Рисунок 6 – Динамика биомассы зоопланктона озер в зависимости от минерализации воды

В озерах с минерализацией воды $2-70 \text{ г/дм}^3$ средняя биомасса планктонных беспозвоночных $- 3,0 \pm 0,6 \text{ г/м}^3$ – статистически достоверно выше, чем в пресных водах $- 0,3 \pm 0,1 \text{ г/м}^3$. Усиление роли ракообразных обуславливает одновременное возрастание величины показателя размерно-массовой

структуры сообществ – от $0,013 \pm 0,003$ до $0,073 \pm 0,021$ мг/особь. Максимальное значение *Cladocera* отмечается в пресных (до $1,0-1,5$ г/дм³) и гипергалинных ($40,0-80,0$ г/дм³) водоемах. При увеличении суммарного содержания растворенных солей свыше 60 г/дм³ из состава сообществ исчезают коловратки. Ветвистоусые становятся малочисленными при минерализации воды более 80 г/дм³. Веслоногие могут достигать значительной численности (до $7,5$ тыс. экз/м³) даже при величине показателя 130 г/дм³.

Состав доминирующих видов при минерализации воды $2-3$ г/дм³ чаще всего включает ракообразных *Diaphanosoma lacustris*, *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Arctodiaptomus salinus*, *Mesocyclops leuckarti*, *Thermocyclops crassus*, *T. vermifer*, *T. taihokuensis*, *T. oithonoides*, *Cyclops vicinus*. При величине показателя $3,1-10,0$ г/дм³ в зоопланктоне доминируют *Ceriodaphnia laticaudata*, *D. lacustris*, *Daphnia magna*, *D. pulex*, *T. vermifer*, *A. salinus*, *Megacyclops viridis*, *Hemidiaptomus ignatovi*, *Metadiaptomus asiaticus*, *M. incrassatus*, *Arctodiaptomus bacillifer*, *Apocyclops dengizicus*. Резкое сужение спектра доминирующих видов происходит при дальнейшем увеличении суммарного содержания растворенных солей. При минерализации воды $10-40$ г/дм³ фон планктона создают *D. magna*, *A. salinus*, *Thermocyclops dybowskii*, *A. bacillifer*. При $40-130$ г/дм³ доминируют *Moina mongolica*, *A. dengizicus*, *A. salinus*, *Cletocamptus retrogressus*. Появление галофила *M. mongolica* обуславливает упомянутый выше рост значения кладоцер в зоопланктоне гипергалинных озер. Водоемы с минерализацией воды свыше 130 г/дм³ преимущественно населяет жаброног *Artemia sp.* В условиях Казахстана, по нашим данным, популяции этого вида достигают максимальной численности при суммарном содержании растворенных солей от 140 до 280 г/дм³.

Отмечено два максимума разнообразия зоопланктона по индексу Шеннона-Уивера – при минерализации воды $0,8-1,0$ г/дм³ и $5,0-6,0$ г/дм³ (рисунок 7). Нелинейностью изменений разнообразия зоопланктона объясняется отсутствие достоверной зависимости между значениями индекса Шеннона-Уивера и минерализацией воды.

6 Зоопланктон как индикатор качества среды и экологического состояния водоемов и водотоков Казахстана

На основе сравнительного анализа имеющихся материалов установлено, что для диагностики экологического состояния пресных водоемов по зоопланктону, помимо динамики численности, биомассы, состава доминирующих групп и видов, величины средней индивидуальной массы особи, разнообразия по индексу Шеннона-Уивера, показательными являются тип структуры доминирования видов, половая, возрастная структура и наличие уродливых особей в популяциях веслоногих.

Общее направление сукцессионных перестроек зоопланктона зависит от характера загрязнения водоема. Условно можно выделить три основных типа воздействия, между которыми могут быть переходные состояния: органическое, смешанное загрязнение (токсическое и органическое) и залповые выбросы токсических веществ.

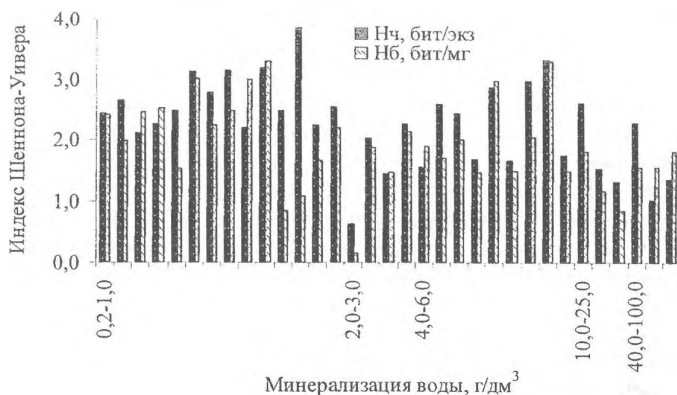


Рисунок 7 – Динамика разнообразия зоопланктона озер в зависимости от минерализации воды

Признаками усиления органического загрязнения водоемов являются:

1 Повышение суммарной численности зоопланктона от 10-40 до 100-150 тыс. экз/м³ и более.

2 Повышение суммарной биомассы зоопланктона от 0,2-0,8 до 1,5-2,5 г/м³ в озерах и до 8,0-15,0 г/м³ в водохранилищах. Необходимо учитывать куполообразный характер изменений количественных показателей планктонных организмов при снижении глубины водоемов в направлении МО→ММ→МЭ→МЭ_{гр}. В зарастающих мелководных озерах и водохранилищах величины биомассы зоопланктона даже при сильной биогенной нагрузке будут существенно меньше, чем в незарастающих.

3 Смена состава доминирующих групп с ротаторно-клядоцерного на копеподно-клядоцерный и далее ротаторно-ротаторный или ротаторно-копеподный.

4 Смена состава доминантов в направлении: *Daphnia* → *Diaphanosoma* → *Ceriodaphnia* → *Bosmina*; *Calanoida* → *Cyclopoida*: *Mesocyclops*, *Thermocyclops* → *Acanthocyclops* или *Acanthocyclops* + *Cyclops*.

5 Смена типа структуры доминирования видов в направлении Б>Ч, Б≥Ч, Б≈Ч, Б=Ч, БХЧ, Ч>Б.

6 Уменьшение величины средней индивидуальной массы особи в сообществах от 0,020-0,030 мг до 0,010-0,013 и далее до 0,001-0,006 мг.

7 Повышение значений индекса Шеннона-Уивера в направлении МО→ММ→МЭ→МЭ_{гр} и при увеличении биогенной нагрузки в водоемах ММ и МЭ категорий. В холодноводных озерах максимальное разнообразие зоопланктона отмечается при умеренном воздействии.

При смешанном характере загрязнения водоемов (органическое + токсическое) увеличение биогенной нагрузки сопровождается аналогичными перестройками структуры зоопланктона – повышением численности, биомассы, сменой состава доминирующих групп и видов, уменьшением величины средней массы особи. Выявленные закономерности могут существенно нарушаться в зависимости от соотношения органической и токсической составляющих. При этом нестабильность внешних условий при смешанном загрязнении отражают резкие перестройки структуры зоопланктонных сообществ в течение коротких промежутков времени. Характерными признаками более или менее длительного присутствия токсических веществ в водоеме являются:

1 Наличие в популяциях веслоногих уродливых особей. Они могут постоянно встречаться по отдельным частям крупных водоемов при наличии точечных источников загрязнения или по всей акватории, если водоем небольшой и водные массы хорошо перемешиваются.

2 Более низкие количественные показатели зоопланктона по сравнению с потенциально возможными в условиях того или иного уровня органического загрязнения.

3 Выраженный размах колебаний (более чем в 5 раз) количественных показателей зоопланктона по различным биотопически однородным частям водоема и в межгодовом аспекте.

4 При доминировании токсической составляющей характерно выпадение из состава зоопланктона или резкое снижение численности коловраток и ветвистоусых, доминирование циклопов. Такие перестройки структуры сообществ могут наблюдаться по различным биотопически однородным частям или по всему водоему, в зависимости от площади загрязненной зоны. При сильном токсическом загрязнении происходит снижение численности циклопов, в первую очередь, половозрелых особей.

5 Структура доминирования видов – преимущественно по 4-6 типу.

6 Выраженное доминирование самцов в популяциях веслоногих (более чем в 3,5-5,0 раз).

7 Более низкий уровень разнообразия зоопланктона по Шеннону-Уиверу, по сравнению с характерным для водоемов данной морфометрической категории при данном уровне органического загрязнения.

При залповых выбросах токсических веществ, помимо повышения их абсолютных концентраций, существенное значение имеет нарушение соотношения между органической и токсической составляющими. При таком типе воздействия характерно:

1 Резкое снижение (на один-два порядка) количественных показателей зоопланктона.

2 Выпадение из состава сообществ или резкое снижение численности калянид, коловраток и ветвистоусых ракообразных. Доминирование циклопов.

3 Резкое снижение численности или выпадение из состава зоопланктона незарастающих или слабо зарастающих водоемов половозрелых особей циклопов и калянид. Следует учитывать, что численность взрослых особей в

сильно зарастающих водоемах может быть чрезвычайно низкой и при отсутствии воздействия.

4 Резкое отклонение значений индекса разнообразия Шеннона-Уивера от характерного для водоемов данного типа, как в сторону снижения, так и в сторону увеличения.

5 В силу кратковременности воздействия залповых выбросов, уродливые особи веслоногих отсутствуют даже при высоких концентрациях тяжелых металлов, регистрируемых на момент обследования.

При использовании зоопланктона в целях биоиндикации состояния водных экосистем следует обращать внимание не только на направленность изменений перечисленных показателей, но также и на их сочетания. Например, резкое снижение численности зоопланктона при одновременном отклонении значений индекса Шеннона-Уивера от средних величин будет свидетельствовать о преобладании токсической составляющей, также как и доминирование младших возрастных стадий веслоногих. При усилении до определенного уровня органического загрязнения водоемов увеличение обилия планктонных организмов будет сопровождаться повышением разнообразия по Шеннону-Уиверу, при этом необходимо учитывать температурные условия. Высокую прогнозную значимость имеет наличие в составе популяций веслоногих уродливых особей, что, как показала практика, наряду с доминированием самцов, позволяет с высокой вероятностью говорить о наличии продолжительного загрязнения водоемов тяжелыми металлами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили выявить основные закономерности формирования структуры зоопланктона под влиянием гидрохимических, гидрологических характеристик, характера и интенсивности антропогенного воздействия на водоемы различных морфометрических категорий. Показана возможность использования описанных закономерностей в целях биологической индикации качества природных вод и экологического состояния водоемов Казахстана.

Минерализация и химический состав воды являются важнейшими факторами, формирующими фаунистический облик водоемов. Известны различия фаун хлоридных и сульфатных вод. На примере озер Балкаш и Алаколь нами показано, что видовой состав зоопланктонных сообществ может зависеть также от абсолютного содержания и соотношения ионов щелочных и щелочноземельных металлов. Изменение гидрохимических характеристик в различные по водности годы оказывает решающее влияние на межгодовую динамику численности, биомассы и видового состава гидроценозов минерализованных водоемов. Выявленное нами увеличение биомассы зоопланктона в градиенте минерализации воды связано как с уменьшением времени оборота и накоплением биогенных элементов, чему способствуют гидрофизические условия мелководных водоемов (слабая проточность, большое отношение поверхности дна к объему воды, ухудшение растворимости

кислорода), так и, возможно, с меньшей выдасмостью планктонных организмов рыбами за счет изменения состава и численности ихтиоценозов.

Формирование структуры зоопланктона пресных озер и водохранилищ в значительной степени определяется количеством поступающих и накопленных биогенных элементов и температурными условиями. В зависимости от формы нахождения соединений азота и фосфора (в донных отложениях или в пределах органической части экосистемы), что связано с регионально-климатическими условиями, связь между межгодовой динамикой численности зоопланктона и гидрологическим режимом водоемов может быть прямой или обратной. Важным моментом является выявленный нелинейный характер изменения ряда структурных показателей в процессе сукцессионных перестроек сообществ под влиянием факторов среды.

Поступление органических веществ из антропогенных источников во много раз ускоряет процессы естественного евтрофирования и связанного с ним ухудшения качества воды водоемов. Особенно уязвимы холодноводные озера, существенные изменения в гидроценозах которых происходят на фоне менее выраженной антропогенной нагрузки, по сравнению с тепловодными водоемами. Еще большую опасность представляет токсическое загрязнение водных объектов. Помимо снижения разнообразия зоопланктона, в результате смены видового состава за счет элиминации фильтраторов (Cladocera, Calanoida) и доминирования хищников (Cyclopoida), снижается способность водных экосистем к самоочищению, с чем связано ухудшение качества воды. Эта проблема стоит особенно остро для ряда регионов Казахстана, где забор питьевой воды производится из поверхностных водоисточников.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1 Зоопланктон водоемов Казахстана представлен 455 видами, из которых фоновыми являются *Daphnia galeata*, *Diaphanosoma lacustris*, *Cyclops vicinus*, *Thermocyclops crassus*, *Mesocyclops leuckarti*, *Acanthocyclops trajani*, *Arctodiaptomus salinus*. В порядке снижения устойчивости к повышению минерализации воды виды образуют следующий ряд: *A. salinus* > *C. vicinus* > *T. crassus* > *D. galeata* ≈ *D. lacustris* ≈ *M. leuckarti* > *A. trajani*. *D. galeata* встречается в водах с широким градиентом концентраций фосфора. *D. lacustris* и *T. crassus* предпочитают водоемы с содержанием фосфора до 0,05, *M. leuckarti* – до 0,09, *A. trajani* и *C. vicinus* – свыше 0,10 мг/дм³.

2 Обратная зависимость межгодовой динамики численности зоопланктона пресных холодноводных озер от гидрологического режима связана преимущественно автохтонным происхождением фосфора как основного лимитирующего биогенного элемента за счет его недоиспользования фитопланктоном в условиях низких температур воды и короткого вегетационного сезона. Прямая связь между численностью зоопланктона и уровнем воды равнинных водоемов обусловлена преимущественно аллохтонным происхождением фосфора, при сравнительно полном его использовании первичными продуцентами в условиях длительного вегетационного сезона и высоких температур воды. В солоноватых и

гипергалинных водоемах основное влияние на межгодовую динамику зоопланктона оказывают изменения минерализации воды.

3 Смена типов структуры доминирования видов в зоопланктоне исследованных водоемов с первого-второго на четвертый-шестой сопровождается ослаблением роли ветвистоусых и усилением значения веслоногих и является ответной реакцией сообществ на изменения внешних условий.

4 Смещение половой структуры популяций веслоногих в сторону преобладания самцов и наличие в их популяциях особей с морфологическими отклонениями представляет собой ответную реакцию биоты на хроническое токсическое загрязнение водных экосистем.

5 При возрастании биогенной нагрузки на пресные озера и водохранилища количественные показатели зоопланктона изменяются нелинейно. Величина средней индивидуальной массы особи за счет смены состава доминирующих групп и видов линейно снижается. Динамика разнообразия сообществ по Шеннону-Уиверу в процессе сукцессионного развития водных экосистем зависит от температурного режима.

6 В условиях смешанного загрязнения зоопланктон характеризуется пространственно-временной нестабильностью структурных показателей, выраженным доминированием самцов и наличием в популяциях веслоногих уродливых особей, более низким разнообразием по Шеннону-Уиверу, меньшими суммарными величинами численности и биомассы, по сравнению с выявленными для водоемов данной морфометрической категории при данном уровне органического загрязнения.

7 В минерализованных озерах максимальные количественные показатели зоопланктона отмечаются при суммарном содержании растворенных солей от 6 до 60-70 г/дм³. При увеличении минерализации воды величина средней индивидуальной массы особи в сообществах за счет усиления роли ракообразных возрастает. Отмечено два максимума разнообразия зоопланктона по индексу Шеннона-Уивера – при минерализации воды 0,8-1,0 г/дм³ и 5,0-6,0 г/дм³.

8 На структуру зоопланктона зарегулированных рек оказывают влияние характер и интенсивность загрязнения, уровень развития сообществ в водохранилищах, скорость течения воды, а также связь с пойменными озерами.

9 Основой рекомендаций для оценки экологического состояния водоемов и водотоков Казахстана по зоопланктону являются выявленные закономерности изменения структуры сообществ морфометрически разнотипных водоемов и водотоков при различном уровне антропогенной нагрузки. Структура зоопланктонных сообществ показательна при диагностике органического, смешанного (органическое + токсическое) загрязнения и залповых выбросах токсических веществ.

Оценка полноты решения поставленных задач. Поставленные в работе задачи решены в исчерпывающем объеме. На основе анализа большого объема материала выявлены оптимальные условия обитания фоновых видов зоопланктона в градиенте факторов среды, показана зависимость от

абиотических факторов типа структуры доминирования видов в сообществах, нарушенной половой структуры и появления уродливых особей в популяциях веслоногих. На основе сравнительного анализа выявлены закономерности формирования структуры зоопланктона в зависимости от морфометрических особенностей озер и водохранилищ, минерализации воды, характера и уровня антропогенной нагрузки. Разработаны критерии диагностики и выработаны рекомендации по использованию структурных характеристик зоопланктона для оценки органического, комплексного загрязнения и залповых выбросов токсических веществ в водоемы.

Рекомендации по конкретному использованию результатов. Выявленные закономерности распределения зоопланктона в водоемах различных морфометрических категорий могут быть использованы для прогнозной оценки рыбпродуктивности озер и водохранилищ по количественным показателям кормовых организмов, а также для оценки по биологическим показателям характера и интенсивности антропогенного воздействия на водные экосистемы.

Оценка научного уровня выполненной работы. В работе использован современный системный подход – изучение зоопланктона на уровне сообщества, популяций фоновых видов, отдельных особей в естественных и антропогенно трансформированных условиях обитания. Все данные обработаны статистически. Результаты работы опубликованы в ведущих научных изданиях, в том числе журналах дальнего зарубежья, что позволяет считать ее научный уровень соответствующий международным стандартам.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Амиргалиев Н.А., Крупа Е.Г. Накопление пестицидов в высшей водной растительности Аральского моря и устья р. Сырдарьи за многолетний период // Вестн. сельскохозяйственной науки. – 2001. – № 6. – С. 36-40.

2 Амиргалиев Н.А., Крупа Е.Г. Динамика накопления пестицидов в органах и тканях рыб Малого Аральского моря // Вестн. сельскохозяйственной науки. – 2001. – № 12. – С. 67-69.

3 Крупа Е.Г., Стуге Т.С. О фауне низших ракообразных Куртинского водохранилища // Мат-лы республиканского научно-практического совещания «Проблемы охраны и рационального использования биологических ресурсов водоемов Узбекистана». – Ташкент, 2001. – С. 66-68.

4 Стуге Т.С., Крупа Е.Г., Матмуратов С.А. Состояние сообществ планктонных ракообразных в водоемах зоны Семипалатинского испытательного полигона // Вестн. Национального ядерного центра. – 2001, вып. 3. – С. 98-102.

5 Крупа Е.Г., Акбердина Г.Ж., Добротворская И. Гидрохимическая характеристика и оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами некоторых малых водоемов г. Алматы и его окрестностей // Изв. МОН РК, НАН РК. Сер. биол. и мед. – 2001. – № 6. – С. 79-84.

6 Крупа Е.Г., Матмуратов С.А. Количественное развитие и половая структура популяций *Acanthocyclops robustus* (Copepoda, Cyclopoidea) в водоемах юго-востока Казахстана // Aqua Zoological Research. – 2002. – С. 191-194.

7 Крупа Е.Г., Стуге Т.С., Акбердина Г.Ж. Низшие ракообразные водохранилища Сорбулак в условиях хронического воздействия сточных вод // Мат-лы междунар. конф. «Зоологические исследования в Казахстане». – Алматы, 2002. – С. 176-177.

8 Стуге Т.С., Матмуратов С.А., Крупа Е.Г. Мезозоопланктон водоемов системы реки Нуры в зоне промышленного загрязнения // Мат-лы междунар. конф. «Зоологические исследования в Казахстане». – Алматы, 2002. – С. 186-188.

9 Крупа Е.Г., Амиргалиев Н.А., Шаповалов В. Характеристика гидроценоза накопителя Сорбулак по токсикологическим и биологическим показателям // Тезисы докл. Всероссийской конф. «Современные проблемы водной токсикологии». – Борок, 2002. – С. 166-167.

10 Крупа Е.Г., Амиргалиев Н. А., Шаповалов В. Характеристика гидроценоза накопителя Сорбулак по токсикологическим и биологическим показателям // Тезисы докл. Всероссийской конф. «Современные проблемы водной токсикологии». – Борок, 2002. – С. 166-167.

11 Амиргалиев Н.А., Крупа Е.Г. Оценка уровня кумуляции пестицидов в органах и тканях представителей промысловой ихтиофауны Капчагайского водохранилища // Тезисы докл. Всероссийской конф. «Современные проблемы водной токсикологии». – Борок, 2002. – С.5-6.

12 Krupa E.G. A Comparative Analysis of some Crustacean species inhabited polluted waterbodies // 8th International Conf. of Copepoda. – Keelung, 2002. – P. 86.

13 Щарапова Л.И., Крупа Е.Г., Трошина Т.Т., Климов Ф.В., Канагатова Ш.Ч., Мурова Е.В. Экология *Artemia sp.* (Crustacea, Anostraca) из соленых водоемов Казахстана // Selevinia. – 2002. – С. 265-270.

14 Krupa E.G. On variability of *Acanthocyclops robustus* Sars (Crustacea, Copepoda) from waterbodies of the Southeastern Kazakhstan // Zoosystematica Rossica. – 2003. – Vol. 11 (2) – P. 261-266.

15 Крупа Е.Г. Уровень накопления пестицидов в органах и тканях промысловых рыб Капчагайского водохранилища // Современное экологическое состояние бассейна озера Балхаш. – Алматы, 2002. – С. 131-140.

16 Матмуратов С.А., Стуге Т.С., Трошина Т.Т., Крупа Е.Г., Акбердина Г.Ж., Айнабаева Н.С. Зоопланктон водоемов бассейна р. Нуры в условиях хронического загрязнения промышленными сбросами // Тр. Института зоологии МОН РК, НАН РК. – 2005. – № 49. – С. 130-150.

17 Стуге Т.С., Крупа Е.Г., Смирнова Д.А. Зоопланктон Алаколь-Сасыкольской системы озер // Тр. Алакольского государственного природного заповедника. – Алматы, 2004. – С. 119-137.

18 Стуге Т.С., Крупа Е.Г. Видовой состав зоопланктона Алаколь-Сасыкольской системы и его распределение по водоемам // Selevinia. – 2005. – С. 36-44.

19 Krupa E.G. First record of *Mesocyclops ogunnus* Onabamiro, 1957 from Kazakhstan (Crustacea) // Zoosystematica Rossica. – 2005. – 14 (1) – P. 23-26.

20 Krupa E.G. Population densities, sex ratios of adults, and occurrence of malformations in three species of Cyclopoid copepods in waterbodies with different degrees of eutrophy and toxic pollution // J. of Marine Science and Technology. – 2005. – Vol. 13, № 3. – P. 226-237.

21 Крупа Е.Г., Стуге Т.С. Новый вид рода *Gigantodiatomus* (Copepoda, Calanoida) из Северо-Восточного Казахстана // *Selevinia*. – 2005. – С. 15-17.

22 Шарапова Л.И., Крупа Е.Г., Эпова Ю.В., Фаломеева А.П., Трошина Т.Т. Потребление рыбой кормовых беспозвоночных в пресноводной части Алакольской озерной системы // Мат-лы междунар. конф. «Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Республики Казахстан, Сибири, Монголии, Кыргызстана»: – Алматы, 2005. – С. 158-159.

23 Магда И.Н., Акбердина Г.Ж., Крупа Е.Г., Левин А.С., Мамилев Н.Ш., Курбский А.В. Эколого-фаунистическое обследование района Васильевского накопителя рудничных и сточных вод // Вестн. КазНУ. Сер. экологическая. – 2005. – № 1 (16). – С. 48-56.

24 Шарапова Л.И., Фаломеева А.П., Крупа Е.Г., Эпова Ю.В., Трошина Т.Т. Характеристика продуктивности и потребления кормовых ресурсов в озерном иктиоценозе Алакольской системы озер // Рыбохозяйственные исследования в Республике Казахстан. – Алматы, 2005. – С. 441-450.

25 Piontkovski S., O' Brien T., Umani SF, Krupa E., Stuge T., Balymbetov K., Grishaeva O., Kasymov A. Basin scale response of zooplankton to the North Atlantic Oscillation // Ocean Sciences Meeting. – Honolulu, 2006. – P. 109.

26 Piontkovski S., O' Brien T., Umani S., Krupa E., Stuge T., Balymbetov K., Grishaeva O., Kasymov A. Zooplankton and the North Atlantic Oscillation: a basin-scale analysis // J. of Plankton research. – 2006. – Vol. 28. – N. 10. – P. 1-8.

27 Крупа Е.Г., Амиргалиев Н.А., Гоголь Л.А., Климов Ф.В., Терещенко А.С. Зоопланктон р. Сырдарья в условиях нестабильного гидрологического, гидрохимического и токсикологического режимов // Мат-лы междунар. конф. «Great Rivers and World Civilizations». – Астрахань, 2006. – С. 385-391.

28 Крупа Е. Г. Амиргалиев Н. А., Гоголь Л. А., Климов Ф. В. О зоопланктоне водоемов Южно-Казахстанской области // Вестн. КазНУ. Сер. экологическая. – 2006. – № 1 (18). – С. 43-53.

29 Крупа Е.Г., Стуге Т.С. Низшие ракообразные водоемов системы р. Нуры (по материалам 2006 г.) // Мат-лы междунар. конф. «Биологическое разнообразие азиатских степей». – Кустанай, 2007. – С. 173-176.

30 Krupa E.G., Stuge T.S. New species of the genus *Gigantodiatomus* (Copepoda, Calanoida) from Northeastern Kazakhstan // Изв. МОН РК. Сер. биол. и мед. – 2007. – № 1 (259). – С. 18-22.

31 Крупа Е.Г. Зоопланктон как индикатор органического и токсического загрязнения (на примере разнотипных водоемов Казахстана // Мат-лы междунар. конф. «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем». – Санкт-Петербург, 2007. – С. 231-236.

32 Крупа Е.Г. Глобально значимые водно-болотные угодья. Алаколь-Сасыккольская система озер. – Астана, 2007. – Т. 3. – С. 205-210.

33 Крупа Е.Г. Структурные показатели зоопланктона Шардаринского водохранилища и их использование в оценке качества воды // Водные ресурсы. – 2007. – Т. 34 (6). – С. 712-717.

34 Крупа Е.Г. О зоопланктоне горных и предгорных водоемов Казахстана и Кыргызстана // Мат-лы междунар. конф. «Биоразнообразие животного мира Казахстана, проблемы сохранения и использования» – Алматы, 2007. – С. 71-72.

35 Стуге Т.С., Крупа Е.Г., Кулькина Л.В. О видовом разнообразии ракообразных водоемов Казахстана // Мат-лы междунар. конф. «Биоразнообразие животного мира Казахстана, проблемы сохранения и использования» – Алматы, 2007. – С. 75-77.

36 Крупа Е.Г., Стуге Т.С. О фауне Cladocera водоемов юго-восточного Казахстана // Мат-лы Всероссийской школы-конференции «Ветвистоусые ракообразные: систематика и биология». – Борок, 2007. – С. 264-267.

37 Крупа Е.Г. Современное состояние разнообразия и количественного развития зоопланктона Щучинско-Боровской системы озер // Тэрра. – 2007. – № 2. – С. 113-118.

38 Крупа Е.Г., Шарипова К. Многолетняя динамика зоопланктона озера Кошкарколь (Алаколь-Сасыккольская система) // Тэрра. – 2007. – № 2. – С. 61-67.

39 Тайжанов Е.Б., Кузметов А.Р., Крупа Е.Г., Стуге Т.С., Мирабдуллаев И.М. О фауне циклопов (Crustacea, Sorepoda, Cyclopidae) Казахстана // Мат-лы междунар. конф. «Актуальные проблемы экологии и природопользования в Казахстане и сопредельных территориях» – Павлодар, 2007. – С. 400-402.

40 Крупа Е.Г., Шарипова К. Многолетняя динамика структурных показателей зоопланктона озера Сасыкколь (Алаколь-Сасыккольская система) // Вестн. КазНУ. Сер. экологическая. – 2007. – № 1(20). – С.77-84.

41 Крупа Е.Г. Изменчивость *Arctodiptomus (Rhabdodiptomus) salinus* (Daday) (Sorepoda, Calanoida) из водоемов зоны влияния Семипалатинского испытательного полигона // Aqua Zoological Research. – 2007. – Т. 3. – С. 45-55.

42 Крупа Е.Г. Зоопланктон озер Щучинско-Боровской системы (северный Казахстан) как индикатор их трофического статуса // Тэрра. – 2007. – № 3. – С. 60-66.

43 Крупа Е.Г., Стуге Т.С., Трошина Т.Т., Акбердина Г.Ж. Зоопланктон технических водоемов Соколовско-Сарбайского горно-перерабатывающего объединения (Костанайская область) // Тэрра. – 2007. – № 3. – С. 52-60.

44 Стуге Т.С., Матмуратов С.А., Крупа Е.Г., Акбердина Г.Ж. Планктонные ракообразные водоемов зоны влияния Семипалатинского полигона (по материалам 2002 г.) // Selevinia. – 2007. – С. 38-45.

45 Крупа Е.Г., Стуге Т.С., Лопарева Т.Я., Шаухарбаева Д.С. Распределение планктонных ракообразных озера Балхаш в зависимости от факторов среды // Журн. биологии внутренних вод. – 2008. – № 2. – С. 49-56.

46 Крупа Е.Г., Stuge T.S., Lopareva T.Ya., Shaukharbaeva D.S. Distribution of Planktonic Crustaceans in Lake Balkhash in Relation to Environmental Factors // J. Inland Water Biology. – 2008. – Vol. 1, № 2. – P. 150-157.

47 Крупа Е.Г. Зоопланктон реки Сырдарья как индикатор антропогенного воздействия // Экология и гидрофауна трансграничных бассейнов Казахстана. – Алматы, 2008. – С. 92-112.

48 Крупа Е.Г. Зоопланктон дельтовых озер реки Тентек // Тр. Алакольского заповедника. – Алматы, 2008. – С. 41-48.

49 Крупа Е.Г., Стуге Т.С., Фаломеева А.П., Трошина Т.Т., Киселева В.А. Структурные характеристики зоопланктона накопителей сточных вод // Мат-лы Всероссийской конф. по водной токсикологии «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы». – Борок, 2008. – Ч. 2. – С. 262-264.

50 Крупа Е.Г. *Acanthocyclops trajani* Mirabdullayev et Defaye (Copepoda, Cyclopoida) как индикатор экологического состояния водоемов Казахстана // Мат-лы Всероссийской конф. по водной токсикологии «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы». – Борок, 2008. – Ч. 3. – С. 56-58.

51 Матмуратов С.А., Крупа Е.Г., Лопатин О.Е., Мамилев Н.Ш., Стуге Т.С., Токтамысова З.С., Трошина Т.Т., Акбердина Г.Ж., Сливинский Г.Г. Экология, биоразнообразии и состоянии гидрофауны озера Балхаш // Мат-лы междунар. конф. «Актуальные проблемы биоэкологии». – Москва, 2008. – С. 63-65.

52 Крупа Е.Г. Таксономическое разнообразие и распределение зоопланктона Шардаринского водохранилища (по материалам 2003-2004 гг.) // Aqua Zoological Research. – 2008. – Т. 4. – С. 33-44.

53 Крупа Е.Г., Стуге Т.С. Таксономическое разнообразие и количественное развитие микроракообразных озера Балкаш // Aqua Zoological Research. – 2008. – Т. 4. – С. 45-56.

54 Сливинский Г.Г., Бушueva И.А., Крупа Е.Г., Лопатин О.Е., Магда И.Н., Мамилев Н.Ш., Матмуратов С.А., Стуге Т.С., Токтамысова З.С., Трошина Т.Т., Айнабаева Н.С., Акбердина Г.Ж., Понявкина А.Г., Приходько Д.Е. Экологическая обстановка и состояние фаунистических комплексов бассейна реки Нуры // Мат-лы междунар. конф. «Биологическое разнообразие и устойчивое развитие природы и общества». – Алматы, 2009. – С. 260-262.

55 Крупа Е.Г., Шарипова К. Многолетняя динамика количественных показателей зоопланктона озера Балхаш // Исследования, результаты. – 2009. – № 4. – С. 15-18.

56 Крупа Е.Г., Смирнова Д.А., Амиргалиев Н.А., Садуакасова Р.Е. Многолетняя динамика зоопланктона Шардаринского водохранилища // Исследования, результаты. – 2009. – № 4. – С. 18-20.

57 Крупа Е.Г., Сливинский Г.Г. Зоопланктон водоемов бассейна р. Иле // Вестн. ПГУ им. С.М. Торайгырова. – 2009. – № 4. – С. 103-114.

58 Крупа Е. Г., Стуге Т.С., Сливинский Г.Г. Зоопланктон водохранилища Самаркан в условиях комплексного загрязнения сточными водами // Вестн. ПГУ им. С.М. Торайгырова. – 2009. – № 4. – С. 114-125.

59 Крупа Е.Г., Муллабаев Н.Р. Структура зоопланктона водохранилищ Южно-Казахстанской и Жамбылской областей Казахстана // Узбекский биологический журнал. – 2010. – № 1. – С. 50-53.

Қазақстанның экологиялық жағдайы әр түрлі типті сулары мен су көздері
зоопланктоны құрылымы

03.00.08 – зоология

Биология ғылымының докторы дәрежесін алу үшін дайындалған
диссертацияның авторефераты

ТҮЙІН

Зерттеулер нысаны: Табиғи және антропогенді трансформацияланған су экожүйесі зоопланктондар қауымдастығы мен басым түрлер популяциялары.

Зерттеу мақсаты мен міндеттері. Жұмыстың мақсаты – физикалық – химиялық, гидрологиялық сипаты бойынша, биогендік элементтер деңгейімен, улы және ластануы аралас болып ерекшелінетін Қазақстан сулары мен су көздері зоопланктондық қауымдастықтары құрылымын салыстырмалы түрде талдау.

Зерттеу нысандары мен әдістемесі: Зоопланктондарды жинау 2000-2009 жж аралығында Солтүстік, Орталық, Шығыс, Оңтүстік Шығыс және Оңтүстік Қазақстан су көздерінен жүргізілді. Зерттеу барлығы 48 сулар мен су көздерін қамтыды. Жалпы өңделген зоопланктондық үлгілер саны 1303 құрады. Жинау және өңдеуді жалпыға бірдей әдіспен жүргіздік. Зоопланктонды салыстырмалы талдау барысында сулар үш категорияға жіктелінді – терең сулар, орташа тереңдіктері және таяз сулар. Антропогендік ластануы деңгейі бойынша: әлсіз, қалыпты, жоғары және өте жоғары ластанған сулар болып бөлінді. Зоопланктондардың тірілік ету ортасын сипаттау үшін минерализация, химиялық құрамы, биогендік элементтері қатары, ауыр металдар жайлы түпкілікті және басылымдар мәліметтері алынды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау: Қазақстан сулары зоопланктоны 455 түрмен, соның ішінде басым түрлер болып табылатындар *Daphnia galeata*, *Diaphanosoma lacustris*, *Cyclops vicinus*, *Thermocyclops crassus*, *Mesocyclops leuckarti*, *Acanthocyclops trajani* және *Arctodiaptomus salinus*. Олардың саны мен зоопланктондар қауымдастығының атқаратын рөлі судың минерализациясы мен химиялық құрамы қолайлы жағдайдағы органикалық және улы заттары деңгейімен анықталады. Зоопланктондар саны мен тұщы сулар гидрологиялық режимі арасында екі типті жыл аралық байланыс бар екендігі анықталды: мұздақтардан басталатын таулық суық сулы өзендер үйін кері және антропогендік әсер аймағында орналасқан жазықтағы жылы сулы көлдер мен суқоймаларда тура байланысы. Зоопланктондардың жыл аралық саны динамикасын екі типі сулардың гидрологиялық режиміне байланыстылығы басым түрде биогенді элементтерді шектеуші ретінде фосфордың автохтонды немесе аллахтонды шығу тегіне байланысты. Зоопланктондық қауымдастықтың ішкі қайта құрылуын білдіретін түрлердің

доминантылығы құрылымы графигі сыртқы орта өзгерісіне сәйкес көрсететіні анықталды. Біздің зерттеулеріміз R. Warwickтің [1986] бұл әдісті су омыртқасыздары қауымдастығының ішкі құрылымы өзгерісін сипаттайтын сулардың ластануына реакциясы ретінде қолдану мүмкіндіктерін дамытады. Ескекаяқтылар популяцияларының 16 түрінің жыныстық құрылымы зерттеліп, оның бұзылуы үздіксіз түсіп жатқан улы заттарға су экожүйесінің жауабы екендігі 39 су көзінде айқындалды. Кейбір ескекаяқтылардың ластанған суларда біршама жоғары дамуы олардың популяцияларында аталықтарын өте көп мөлшерде өндіруі қабілеттілігімен байланысты. Экожүйенің улы заттармен үнемі ластануына тән реакциясы зоопланктондар құрамындағы ескекаяқтыларда кемісті түрлердің болуы болып табылады. Тұщы сулар зоопланктондарының салыстырмалы талдауы көлдегі және су қоймадағы биогендік күштің күшейуі, зоопланктонның молайуымен қатар доминанты топтар мен түрлердің алмасуы, доминанттылық құрылымы типі, даралардың орташа биоммасы мәнінің төмендеуімен, Шеннон - Уивер индексі бойынша зоопланктондардың алуан түрлілігі артуымен бірге жүреді. Суқойманың және су көздерінің органикалық және улы заттармен кешенді түрде ластануы жағдайында зоопланктондар қауымдастығы құрылымына уақыт және кеңістік бойынша тұрақсыздық тән, биогендік элементтердің сәйкес деңгейіндегі осындай морфометриялық дәрежедегі сипатқа тән сулармен салыстырғанда Шеннон-Уивер индексі бойынша алуан түрлілік барынша төмен. Еріген тұздардың құрамы жиынтығы артқанда минерализацияланған сулардағы шаянтәрізділердің доминантты түрлері рөлі есебінен зоопланктон биоммасы ұлғаяды. Қауымдастықтардың алуан түрлілігі судың минерализациясы артқанда сызық бойымен өзгермейді. Планктондар қауымдастығы құрылымы тұрақсыздығы судың минерализациясының ауытқуымен байланысты. Зоопланктондарының салыстырмалы талдауы реттелген Іле, Нұра, және Сырдария өзендері қауымдастықтары құрылымына ластанудың сипаты мен қарқындылығы, су қоймалардағы қауымдастықтардың дамуы деңгейіне ағыс жылдамдығы, тағы сол сияқты жайылма көлдермен байланысы бар немесе жоқ болуы эсер ететінін көрсетті. Осы айқындалған сыртқы орта факторларына байланысты зоопланктондар өзгерісі заңдылықтары негізінде қауымдастықтар құрылымы органикалық заттармен ластануы, кешендік ластану кезінде, тағы сол сияқты улы заттардың жаппай түсуінде көрсеткіш бола алатындығы айқын болды.

Өндіріске енгізу дәрежесі. Зерттеу нәтижелерін Қазақстан су көздерінің ластану деңгейі мен сипатын бағалауға пайдалану ұсынылады.

Қолдану аясы. Зоологияда, гидробиологияда, экологияда және балық шаруашылықтық зерттеулерде.

Зерттеу нәтижелерін пайдаланудың болашағы. Зоопланктонның әдеттегі түрлерін популяция деңгейінде және жеке дараларын зерттеу бағыты болашағы болып табылады және Уорвик әдісімен ортаның факторына байланысты зоопланктонның құрылымдық қалыптасуы заңдылығын іздеуде зоопланктонның құрылымын сипаттауға қолданылады.

KRUPA ELENA GRIGORJEVNA

**Zooplankton structure of different ecological type's waterbodies and rivers of
Kazakhstan**

03.00.08 – zoology

Dissertation for the Degree of Doctor of Biological Sciences

SUMMARY

Object of investigation: zooplankton community and species populations in natural and changed water ecosystems of Kazakhstan.

The purpose of work – comparative analyses of community zooplankton structure of Kazakhstan waterbodies, different by physical-chemical, hydrological description, biogenic, toxic and integrated pollution.

Material and methods of investigation. Zooplankton samples were collected during 2000-2009 in waterbodies of North, Central, East, South-East and South Kazakhstan (1303 zooplankton samples). Zooplankton samples were processed using standard methods. The waterbodies investigated were categorized in three groups – with depth more than 15m, with depth 6-12m and with depth less than 5m. In relation to pollution the waterbodies investigated were categorizing in 4 groups: a few, moderate, high and very high polluted. The original and literature data about water mineralization, organic matter and heavy metals concentrations were used for descriptive of environmental conditions.

Results of investigations. Zooplankton of Kazakhstan waterbodies consists of 455 species. The widest distributions have crustacean's species *Daphnia galeata*, *Diaphanosoma lacustris*, *Cyclops vicinus*, *Thermocyclops crassus*, *Mesocyclops leuckarti*, *Acanthocyclops trajani* и *Arctodiaptomus salinus*. The species number and their role in zooplankton communities in conditions of optimum mineralization and water chemical composition depend on organic and toxic pollution level of waterbodies. Between zooplankton number and water level (hydrological conditions) of mountain lakes was found negative dependence, which led to phosphorous entrance from lake's bottom chiefly. Between zooplankton number of plain lakes and reservoirs and their water level was found direct dependence, which led to phosphorous entrance from surrounding territory chiefly (catchment's basin).

It was shown 6 types of dominance zooplankton species structure in water bodies investigated. It was established, that dominance zooplankton species structure reflects changes of environmental conditions adequate.

It was investigated sex structure of 16 Copepod's species populations from 39 waterbodies. It was established, that male dominance in Copepod's populations is response to water ecosystem toxic pollution. It was shown, that presence of Copepod's specimens with morphological abnormalities in zooplankton communities is the response to chronic toxic pollution of water ecosystems.

The comparative analyses of fresh waterbodies zooplankton shows that zooplankton number goes up with increase of waterbodies biogenic pollution. Composition of zooplankton groups (Rotifera, Cladocera, Copepoda) and species changes. Dominance zooplankton species structure changes from 1-3 to 4-6 types. With increase of waterbodies biogenic pollution, values of average individual specimens mass in zooplankton communities decrease. This zooplankton structure changes attach to increase of zooplankton biodiversity by Shenon's indexes. In complex organic and toxic polluted waterbodies the zooplankton structure was unstable as in different waterbodies area as in different years of investigation. In the conditions of complex pollution zooplankton biodiversity by Shenon's indexes was less, than at the only organic polluted waterbodies.

It was investigated zooplankton of waterbodies with water mineralization from 1.0 to more than 150.0 g/dm³. It was shown, that with an increase in water mineralization, zooplankton biomass increases because of increase of Crustacean dominance. It was established two zooplankton biodiversity maximum: at water mineralization 0.8-1.0 g/dm³ and 5.0-6.0 g/dm³. In conditions of water mineralization fluctuations zooplankton structure was unstable.

There are given comparative analysis of Ile, Nura and Syrdaria Rivers zooplankton. It is shown, that river's zooplankton structure mainly depends on character and intensification of pollution, the zooplankton number of in appropriate reservoirs, current speed and connection with flood plain lakes.

On the base of discovered order of zooplankton dynamics to environmental factors relations is established, that the zooplankton structure indicates as organic, as complex and also toxic pollution of waterbodies investigated. For the valuation of ecological conditions of waterbodies by biological methods it is necessary to take into account the described non linear order of some zooplankton structure dynamics and necessity of their complex using.

Level of implementation in practice. Results of investigations are recommended to use for estimation of level and character of Kazakhstan waterbodies contaminations.

Range of application. Zoology, hydrobiology, ecology.

Perspectives of the objects of scientific research. Perspectives line of zooplankton investigation are populations and specimens research, using Warwick's method for description of zooplankton structure, comparative analysis and quest of order of zooplankton structure change to environmental factors relations.