

На правах рукописи



ПАНОВ Александр Геннадьевич

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СООБЩЕСТВ ИНFUZОРИЙ
ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ
ЮЖНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА САХАЛИН**

1.5.15. Экология (биологические науки)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

ПЕНЗА – 2024

Работа выполнена на кафедре «Нефтегазовое дело, химия и экология» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения».

Научный руководитель – доктор биологических наук, профессор
Никитина Людмила Ивановна

Официальные оппоненты: **Довгаль Игорь Васильевич,**
доктор биологических наук, профессор,
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», главный научный сотрудник, руководитель Лаборатории популяционной биологии гидробионтов

Чебыкина Екатерина Юрьевна,
кандидат биологических наук,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», доцент кафедры прикладной экологии

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук

Защита состоится «___» _____ 2024 г. в ___ часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.071.03 на базе ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского» по адресу: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» и на сайте <https://dissov.pnzgu.ru/ecspertiza/biolog/panov>

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Леонова Наталья Алексеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Сахалин является крупнейшим островом Дальнего Востока России, третий по величине остров бореальной зоны Тихого океана. По территории острова протекает свыше 1000 малых водотоков и расположено более 600 малых озер. Реки Сахалина являются естественными нерестилищами для анадромных видов рыб и в первую очередь для наиболее ценных видов – тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus*. В связи с возросшей хозяйственной деятельностью все они испытывают антропогенное давление со стороны предприятий, коммунально-бытовых хозяйств и населения, поэтому изучение и дальнейшее сохранение биоразнообразия малых водных объектов крайне необходимо для поддержания устойчивых экосистем острова.

Инфузории (Ciliophora) выполняют важную роль в функционировании водных экосистем, в том числе в процессах самоочищения водных объектов. Благодаря высокой чувствительности инфузорий к экологическим факторам и быстрым темпам их размножения эти организмы являются удобными и эффективными индикаторами состояния экосистем. При этом информация о составе и структуре сообществ инфузорий в пресных водах о. Сахалин полностью отсутствует, а понимание роли этого компонента экосистем в водотоках с повышенным содержанием органики крайне ограничено. Этим и определяется актуальность настоящей работы.

Степень разработанности темы исследования. На Дальнем Востоке России изучение инфузорий в морских экосистемах проводилось в Японском и Охотском морях (в заливах Приморского края, на Курильских островах, в северной части Охотского моря и в лагуне Буссе южной части о. Сахалин). Инфузорий пресноводных экосистем исследовали в Амурской области, Хабаровском и Приморском краях. Изучение свободноживущих инфузорий в пресноводных объектах о. Сахалин ранее не проводилось. Участие инфузорий в процессах деструкции снетки тихоокеанских лососей также до этого не исследовалось.

Цель исследования – изучить структуру сообществ инфузорий в разных типах пресноводных объектов южной части о. Сахалин и исследовать участие Ciliophora в процессах разложения снетки тихоокеанских лососей.

Задачи исследования:

1. Изучить видовой состав сообществ инфузорий в разнотипных пресноводных объектах южной части о. Сахалин и сопоставить структуру сообществ инфузорий пресных вод острова с сообществами из других регионов Дальнего Востока России.
2. Проанализировать экологическую структуру сообществ инфузорий.
3. Провести сапробиологический анализ разнотипных пресноводных объектов южной части о. Сахалин по данным о сообществах инфузорий.
4. Исследовать участие инфузорий в деструкции снетки тихоокеанских лососей в водотоках южной части о. Сахалин.

Научная новизна. Впервые произведена инвентаризация свободноживущих инфузорий в пресноводных объектах южной части о. Сахалин; обнаружено 149 морфовидов; впервые зарегистрированы в водных объектах Дальневосточного региона 58 морфовидов. Показаны сходства и различия сообществ инфузорий в исследованных пресноводных объектах различного типа; отмечено, что сообщества горно-равнинных водотоков на 37 % отличались от сообществ инфузорий старичных озер. В них преобладали активно передвигающиеся перифитонно-бентосные морфовиды инфузорий. Максимум морфовидового разнообразия инфузорий приходился на лето; в течение сезона в водном объекте может наблюдаться от одного до трех пиков морфовидового разнообразия инфузорий, связанных с гидрологией, сезонными изменениями климата и особенностями хозяйственной деятельности человека в районе каждого водного объекта. Показано, что сообщества инфузорий южной части о. Сахалин в сравнении с пресными водами других регионов Дальнего Во-

стока России сходны по своей трофической структуре и имеют значимые отличия по своему морфовидовому составу, размерной структуре и распространению в экотопе. Проведено определение сапробности участков пресноводных объектов южной части о. Сахалин с использованием инфузорий. Впервые исследован состав сообщества инфузорий в период появления в водотоках сненки тихоокеанских лососей. В этот период основу сообщества составляют бентосные и «переходные» крупноразмерные формы *Spirostomum ambiguum*, *Paramecium caudatum*, *Stentor roeselii*, *Frontonia leucas*, более мелкие *Urocentrum turbo*, *Steinia platystoma*, *Aspidisca turrita*, *Chilodonella uncinata*, а также мелкие представители группы Scuticociliatia. Всего в водотоках острова в этом процессе принимают участие более 40 морфовидов инфузорий.

Практическая значимость работы. Проведенные исследования позволили провести оценку сообществ инфузорий в биоценозах пресноводных объектов южной части о. Сахалин. Работы по изучению региональных особенностей Ciliophora расширяют представления об их многообразии и распространении, позволяют уточнить биолого-экологические особенности этой группы живых организмов. Определена специфика в распределении сообществ инфузорий по биоценозам и по сезонам в южной части о. Сахалин. Материалы, посвященные индикаторным особенностям видов и сапробности водоемов, позволяют проводить мониторинг состояния пресноводных объектов в Сахалинской области. Изучено участие инфузорий в процессе деструкции сненки тихоокеанских лососевых рыб.

Полученные данные о разнообразии инфузорий и формируемых ими сообществах в природных и антропогенных биоценозах южной части о. Сахалин используются в курсах лекционно-практических занятий в Сахалинском государственном университете и в Сахалинском институте железнодорожного транспорта, а также в ходе различных курсов по экологии с учащимися старших классов школ области.

Методология и методы исследования. Диссертационная работа является результатом восьмилетнего исследования автором сообществ инфузорий в водотоках и в малых водоемах южной части о. Сахалин. Изучение проводили по стандартным, описанным в научной литературе методикам исследования, использованы стандартные эмпирические (наблюдение, сравнение, эксперимент) и статистические методы. Сбор материала для исследования на четырех горно-равнинных водотоках – реках Лютоге, Красносельской и Рогатке, ручье Пригородном – производили ежемесячно на каждом контрольном участке с мая по октябрь в 2012–2015 гг.; на протоке и трех малых водоемах нижнего течения р. Таранай – еженедельно в летний и осенний период 2016–2018 гг. и осенью 2020 г. На остальных объектах пробы отбирались только в летний сезон. Для отбора проб использовали пробоотборники и планктонную сеть «Джеди» со стаканом; перифитонные обрастания соскабливали мягкой щеткой с различных поверхностей и устанавливали «стекла обрастания». Химический состав воды исследовали одновременно со взятием проб с помощью капельных экспресс-тестов (Крисмас+, НИЛПА) и в лаборатории ЦГСЭН, количество растворенного в воде кислорода – с помощью термооксиметра «Экотест 2000» (НПП «Эконикс»). При обедненном видовом разнообразии инфузорий в пробы добавляли питательные среды.

Морфовидовой состав инфузорий определяли с помощью микроскопов («Motic BA 300», «Leica DME», «Микромед-3» и др.) в живом состоянии и на фиксированных микропрепаратах, также применяли различные цитологические и гистохимические методы. При определении видового состава использовали работы: Berger & Foissner (2003); Foissner & Berger (1996); Foissner [et al.] (1991–1995), а также публикации других авторов. В диссертации используется систематика кледы Ciliophora в соответствии с безранговой системой (Adl et al., 2018). Для диагностики экологических условий среды обитания исследуемых объектов оперировали различными биотическими индексами. Для изучения морфологии, физиологических реакций, течения жизненных циклов, влияния факторов среды проводилось культивирование инфузорий.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Пресноводные объекты южной части о. Сахалин характеризуются разнообразными таксоценозами инфузорий, определены шесть типов сообществ инфузорий, отличающихся по своему составу и структуре. Сообщества инфузорий горно-равнинных водотоков имеют особенности, связанные с существующими в них условиями среды (скорость течения, содержание кислорода, минеральных и органических веществ).

2. В период ежегодного накопления в нерестовых водотоках южной части о. Сахалин сненки тихоокеанских лососей происходит периодическая перестройка сообществ инфузорий, которая отражается в уменьшении разнообразия и в увеличении численности отдельных, в большинстве своем крупноразмерных морфовидов, что является следствием значительного увеличения в этот период в реках разлагающегося органического вещества.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов обеспечивается использованием различных дополняющих друг друга методов исследования и подтверждается воспроизводимостью полученных результатов при повторении условий исследований, использовании в работе общепринятых методик и статистических методов.

Апробация работы. Материалы диссертации представлены на IV Международной научно-практической конференции «Культура, наука, образование и бизнес XXI века: проблемы и перспективы развития в странах АТР» (Южно-Сахалинск, 2013); II Всероссийской научно-практической конференции Сахалинского института железнодорожного транспорта «Перспективы развития техносферы и социума: инновации и модернизация» (Южно-Сахалинск, 2013); III Всероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития современной научной мысли: инновации и модернизация» (Южно-Сахалинск, 2014); XXII Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты» (Новосибирск, 2015); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы гуманитарных и естественных наук» (Москва, 2015); 5-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экология и безопасность жизнедеятельности города: проблемы и решения» (Хабаровск, 2016); V Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы развития современной науки: фундаментальные и прикладные исследования» (Южно-Сахалинск, 2017); I Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования: гипотезы, проблемы и результаты» (Новосибирск, 2017); XIII Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» (Пенза, 2018); LIV Международной научно-практической конференции «Химия, физика, биология, математика: теоретические и прикладные исследования» (Москва, 2021); Всероссийской научно-практической конференции Сахалинского института железнодорожного транспорта – филиала Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Южно-Сахалинск, 2022).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 работы, из них 1 – статья в журнале, индексируемом в МБД Scopus (в соавторстве), 7 – статьи в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 8 глав, выводов, списка терминов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 165 страницах, содержит 56 рисунков и фотографий, 22 таблицы. Список литературы включает 157 источников, из которых 26 – на иностранных (английском и немецком) языках.

Благодарности. Выражаю искреннюю признательность научному руководителю д.б.н., профессору Л. И. Никитиной за общее руководство и консультации при выполнении настоящей работы; коллегам – кандидатам биологических наук Трибун Михаилу Марковичу и Жукову Андрею Валерьевичу – за консультирование на начальных этапах исследования; всем преподавателям СахИЖТ и СахГУ, помогавшим в работе над диссертацией.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор литературы по теме исследования

Исследования сообществ инфузорий в дальневосточных морях проводились эпизодически, начиная с 50-х гг. XX в.; инфузорий почвенных экосистем – с 80-х гг. XX в. Цилиосообщества пресноводных экосистем начали изучать с начала XXI в. в Амурской области, Хабаровском и Приморском краях. В ходе этих исследований проведен анализ сезонной динамики сообществ, на основании численности и морфовидового состава инфузорий была определена сапробность разнотипных пресноводных объектов. Проведены исследования влияния различных экологических факторов (температуры, солености, нефтепродуктов) на изменения численности инфузорий. К настоящему времени в ходе исследований в пресноводных сообществах материковой части Дальнего Востока России в природных и антропогенных экосистемах обнаружено 242 морфовида Ciliophora, в том числе в Амурской области – 59, в Приморском крае – 110 и в Хабаровском крае – 123.

Инфузории быстро реагируют на изменения в среде обитания, поэтому их часто используют в качестве тест-систем и для индикации степени загрязнения водоемов и почв.

В пресноводных объектах о. Сахалин бентос (макрозообентос), перифитон и планктон до недавнего времени изучался отрывочно. При этом работы были сосредоточены на изучении видового состава и средних количественных характеристик по биотопам. Систематизированные сведения о составе планктона и перифитона пресноводных объектов Сахалина отсутствуют и до настоящего времени. Согласно данным В. С. Лабая (2018), в составе макрозообентоса пресноводных озер отмечено 182 вида беспозвоночных, которые образуют от 1–2 до 7 донных сообществ, приуроченных к различным видам растительности. Смена сообществ и смена сезонных фаз определяются особенностями биологии ключевых видов, доминирующих в течение всего года. Изменения в составе макрозообентоса являются обратимым процессом, характеризующимся тождественностью результатов при долговременных и быстрых изменениях.

По протистам (Protista) на Сахалине с 1946 по 2003 г. проводились изучения паразитов рыб; было зарегистрировано 10 видов паразитических инфузорий. В 1960-х гг. на южном Сахалине (лагуна Буссе) и на о. Кунашир А. В. Янковским проводились исследования морских инфузорий клады Suctorina и инфузорий – паразитов морских двустворчатых моллюсков. Изучению водорослей района Курильских островов были посвящены работы В. С. Огородникова (2007) и И. В. Бутова (2016). Исследования свободноживущих инфузорий и образуемых ими сообществ в южной части о. Сахалин ранее не проводились.

Глава 2. Физико-географическая характеристика района исследования

Природные факторы о. Сахалин связаны с неустойчивостью водного режима рек в условиях муссонного климата и специфическими особенностями формирования химического состава воды в пределах различных ландшафтов (Литенко, 1992; Козынюк, 1994). Существующие климатические условия, изолированность островных экосистем, особенности водных ресурсов местности и характер рельефа являются источниками формирования своеобразных природных комплексов.

Изучение инфузорий проводилось в южной части о. Сахалин (рис. 1) в 9 водотоках (7 из которых являются горно-равнинными, в которых на Сахалине нерестятся тихоокеанские лососи) и в 4 малых водоемах (озерах старичного типа). Многие из этих водных объектов характеризуются повышенной степенью загрязненности, в том числе и в результате антропогенной деятельности (табл. 1, 2).

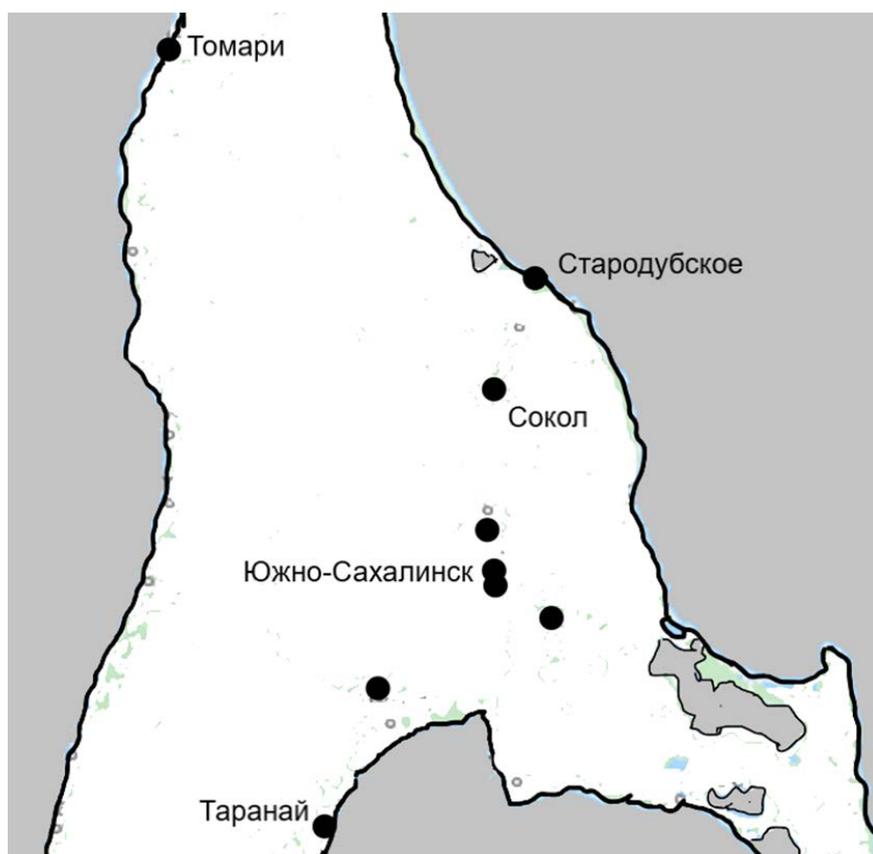


Рисунок 1 – Карта района исследования

Пресноводные экосистемы южной части о. Сахалин отличались друг от друга по следующим параметрам:

1. Наличие и скорость течения в исследованном водном объекте. По данному фактору все они делятся на две группы – лентические и лотические.

2. Все исследованные водотоки можно разделить на следующие группы:

- водотоки речной системы р. Сусуи: реки Красносельская, Рогатка и ручей Пригородный. Все они расположены в черте г. Южно-Сахалинска. Течение быстрое, в двух последних содержание в воде ионов Mn^{2+} , NH_4^+ , NO_2^- незначительное; в воде р. Красносельской регулярно регистрируется превышение содержания ионов Mn^{2+} , Fe^{2+}/Fe^{3+} , Cu^{2+} , NH_4^+ , NO_2^- и фенола;

- мелководные участки (перекаты) среднего (реки Лютога и Большой Такой) и нижнего (р. Томаринка) течения рек. В воде этих водотоков регистрируется повышенное содержание ионов Mn^{2+} , Fe^{2+}/Fe^{3+} , Cu^{2+} . На реках располагаются естественные нерестилища тихоокеанских лососей, особенно много их на р. Лютоге;

- верховья р. Комиссаровки – наиболее чистый из исследованных водотоков, территория памятника природы. На реке также располагаются нерестилища тихоокеанских лососей;

- равнинные торфяные ручьи с болотной водой (коричневого цвета); рН в этих водных объектах равен 6,5–6,9.

3. Исследованные малые водоемы можно разделить на две группы – бессточные (оз. Большое и Западное) и связанные с водотоками (оз. Восточное и лагуна Томаринки). Физико-химические параметры воды отличались по содержанию в воде Fe^{2+}/Fe^{3+} , PO_4^{3-} , общей жесткости и рН. В озерах происходит зарастание береговой линии и постепенное заболачивание; они периодически подвергаются эвтрофикации, особенно сильно и длительно эвтрофикация происходит в оз. Большом.

Таблица 1 – Содержание растворенных веществ в некоторых исследованных водотоках

Параметры	1	2	3	4, 5	6	7
$t_{\text{воды}} (^{\circ}\text{C})$	5–9 (в, о) 10–16 (л)	10–15 (л)	5–9 (в, о) 10–16 (л)	5–9 (в, о) 11–16 (л)	9–16 (л)	7–15 (л)
$V_{\text{теч}} (\text{м/с})$	0,8–1,2	0,8–1,1	0,8–1,1	0,7–1,1	0,4–1,1	0,8–1,2
жесткость общ. (мг·эquiv/л)	1,34–1,64	1,34–1,64	1,02–1,34	1,34–1,64	0,67–1,02	0,33–1,02
pH	7,0–7,2	7,0–7,2	7,0–7,2	7,0–7,2	6,8–7,2	7,0–7,5
Mn^{2+} (мг/л)	до 0,54 (*3,7)	до 0,39	до 0,37	$\leq 0,1$	до 0,11	$\leq 0,1$
$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ (мг/л)	до 1,11	до 1,32	до 0,51	до 0,9	до 1,44	0,27
Cu^{2+} (мг/л)	до 6,2	до 6,5	до 7	до 9,3	до 4,3	$< 0,01$
NH_4^+ (мг/л)	≤ 2	≤ 2	до 10,2	≤ 2	≤ 2	0
NO_2^- (мг/л)	$\leq 3,0$	$\leq 3,0$	до 9,3	$\leq 3,0$	$\leq 3,0$	$\leq 0,2$
фенолы (мг/л)	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	до 0,0017	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$

Примечание. 1 – р. Лютога; 2 – р. Б. Такой; 3 – р. Красносельская; 4 – р. Рогатка; 5 – руч. Пригородный; 6 – р. Томаринка; 7 – р. Комиссаровка; * – критические показатели загрязнения воды.

Таблица 2 – Содержание растворенных веществ в исследованных водоемах** и в протоке

Параметры	оз. Большое	оз. Западное	оз. Восточное	прот. Безымянная
$t_{\text{воды}} (^{\circ}\text{C})$	16–18	16–18	16–18	15–16
жесткость общ. (мг·эquiv/л)	0,344	0,644	3,344	3,54
pH	6,7–6,9	6,4–6,6	7,0	5,0–6,6
O_2	9,42–11,9	8,6–10,94	8,6–11,9	7,4–12,9
$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ (мг/л)	2,2	0,39	0,24	6,7
NO_3^- (мг/л)	$< 0,2$	$< 0,2$	$< 0,2$	$< 0,2$
PO_4^{3-} (мг/л)	0,3	$< 0,05$	$< 0,05$	2,9

Примечание. ** – собственного таксономического названия эти водоемы не имеют, поэтому в работе они условные.

Глава 3. Методы исследования сообществ инфузорий пресноводных объектов

Отбор гидробиологических образцов на каждом контрольном участке рек Лютоги, Красносельской, Рогатки и руч. Пригородного осуществляли с мая по октябрь, на остальных водотоках – только в летний период; образцов из малых озер и протоки – в летний и осенний период. Перифитонные и бентосные пробы отбирали с мелководных участков рек пробоотборниками; планктонные пробы – фильтрацией воды через планктонную сеть «Джеди»; также устанавливали «стекла обрастания» (Трибун, 2010). Химический состав воды исследовали одновременно со взятием проб с помощью капельных экспресс-тестов (Крисмас+ и др.), часть проб анализировали в лаборатории ЦГСЭН; количество растворенного в воде кислорода – с помощью термооксиметра «Экотест 2000» (НПП «Эконикс»). Всего в разные сезоны было взято и обработано около 450 проб из водотоков и около 170 проб из малых водоемов.

Определение морфовидов осуществляли по морфологическим признакам *in vivo* и на фиксированных препаратах; использовали растворы пищевой соды – 4 %, метиленового синего – 0,0001 % и эозина – 0,1 %. Для изучения морфологии, физиологических реакций, течения жизненных циклов, влияния факторов среды проводилось культивирование инфузорий в лабораторных условиях.

Идентификацию инфузорий проводили с помощью работ Berger & Foissner (2003); Foissner & Berger (1996); Foissner [et al.] (1991–1995) и других авторов. Трофический статус инфузорий определяли, основываясь на работах J. Pratt и J. Caerns (1985); В. В. Жарикова (1996) и С. А. Быковой (2005). Жизненные формы (группы экотопа) – с использованием работ В. В. Жарикова (1996); С. А. Быковой (2005) и других авторов. Индикационную значимость (индекс сапробности) обнаруженных морфовидов – по работам W. Foissner (1991–1995) и других авторов, учитывая их численность и частоту встречаемости в пробах из водных объектов. Разнообразие сообществ инфузорий оценивали: по частоте встречаемости (Йоганзен, 1978), показателю «родовой насыщенности» (Охупкин, 2003), индексам Коха (IBD), Маргалёфа (d) и Шеннона (H). Сравнительный анализ циллиосообществ в водных объектах проводили по коэффициенту Жаккара – Малышева (K_{j-m}) и индексу Чекановского – Сьеренсена (I_{cs}). Степень органического загрязнения водоема (индекс сапробности S) вычисляли по формуле, предложенной Pantle и Buss в модификации М. В. Чертопруда (2002).

Глава 4. Таксоценозы инфузорий исследованных пресноводных объектов южной части острова Сахалин

В ходе исследования в пресноводных объектах южной части о. Сахалин выявлено 149 морфовидов инфузорий, принадлежащих к 59кладам безранговой системы классификации Адля (Adl et al., 2019), соответствующих уровню семейства (табл. 3).

Таблица 3 – Таксономическая структура сообществ инфузорий исследованных пресноводных объектов южной части о. Сахалин

Объекты	Клады уровня семейства	Рода	Морфовиды	Процент от общего числа морфовидов
р. Лютога	30	39	67	45,0
р. Большой Такой	20	28	39	26,2
р. Красносельская	37	45	70	47,0
р. Рогатка	27	39	61	40,9
руч. Пригородный	31	39	67	45,0
р. Комиссаровка	14	19	31	20,8
прот. Безымянная (р. Таранай)	31	40	66	44,3
руч. Безымянный (с. Стародубское)	5	6	6	4,0
р. Томаринка	25	30	45	30,2
Лагуна Томаринки	12	12	13	8,7
оз. Большое	33	43	61	40,9
оз. Западное	25	34	53	35,6
оз. Восточное	32	38	63	42,3
Всего	59	80	149	100

Сообщества инфузорий каждого из исследованных водных объектов содержали менее 50 % от выявленного морфовидового разнообразия, т.е. в каждом из них под действием комплекса экологических факторов (скорости течения, содержания кислорода, минеральных и органических веществ) формируется сообщество инфузорий со своими особенностями.

По распространению в разнотипных пресноводных объектах можно выделить:

1) эвритопные морфовиды (встреченные почти во всех исследованных водных объектах) – 16 морфовидов;

- 2) инфузории, встреченные только в водотоках, – 46 морфовидов;
- 3) инфузории, встреченные только в водоемах, – 3 морфовида;
- 4) стенотопные морфовиды (для южной части о. Сахалин), обнаруженные только в одном водном объекте, – 37 морфовидов.

Эвритопными являлись *Spirostomum teres*, *Aspidisca cicada*, *A. lynceus*, *Oxytricha fallax*, *Stylonychia pustulata*, *Tachysoma pellationellum*, *Halteria grandinella*, *Litonotus lamella*, *Chilodonella uncinata*, *Microthorax pusillus*, *Coleps hirtus*, *Glaucoma reniforme*, *Paramecium caudatum*, *Vorticella convallaria complex*, *Uronema sp.* и *Cyclidium sp.* Они встречались почти во всех исследованных объектах, так как смогли успешно адаптироваться к значительным изменениям скорости течения, температуры, pH и содержанию в воде кислорода и различных ионов.

В горно-равнинных водотоках южной части острова Сахалин вода слабо прогревается, достаточно сильно насыщена кислородом (поскольку скорость течения в них на перекатах достигает 1,2 м/с), дно их покрыто песчано-галечными отложениями с минимальными (фрагментарными) отложениями ила и органики (остатки деревьев); в них почти отсутствует высшая водная растительность. В воде многих исследованных рек обнаружено повышенное содержание различных ионов. Вместе с эвритопными инфузориями наиболее пластичными к таким условиям являлись *Stylonychia mytilus complex*, *S. putrina*, *Litonotus cygnus* и *Colpidium colpoda*. Все реки с большим числом обнаруженных морфовидов инфузорий протекают в наиболее хозяйственно развитых районах острова.

Скорость течения в водотоке оказывает значительное влияние на состав и численность инфузорий. На участках с высоким течением в водотоках часто регистрировались *Paramecium caudatum*, *Uronema sp.* и *Cyclidium sp.*, все виды рода *Stylonychia* и *Frontonia leucas*; участки с более спокойным течением предпочитали *Spirostomum ambiguum*, все виды рода *Vorticella*, *Halteria grandinella*. На участках водотоков с меньшим количеством органического вещества часто встречались *Halteria grandinella*, все виды рода *Stylonychia*, а на участках с большим его количеством – *Tetrahymena pyriformis complex*, *Colpidium colpoda*, *Dexiostoma (Colpidium) campylum*, *Glaucoma scintillans*. Большинство морфовидов в сообществах исследованных водотоков (от 73,4 до 95,7 %) и водоемов (от 63,3 до 88 %) являлись редкими и случайными. В пробах во всех горно-равнинных водотоках численность инфузорий была невысокой (от 100 экз/л крупных видов до 800 экз/л очень мелких), однако в местах с ослабленным течением (где накапливалась снетка тихоокеанских лососей) происходило увеличение численности отдельных морфовидов до массовой.

Состав сообщества инфузорий, обнаруженного в протоке (с медленным течением), существенно отличался от такового из горно-равнинных водотоков (21 % видов из протоки не встречались в других водотоках) и имел достаточно много общих морфовидов (63,7 %) с расположенными в этом районе малыми озерами.

Из исследованных малых водоемов три относятся к озерам старичного типа и располагаются в нижнем течении р. Таранай на территории одноименного села; один объект – лагуна р. Томаринки в г. Томари, в 10 метрах от впадения реки в Татарский пролив Японского моря. Значительное влияние на эти экосистемы оказывает антропогенная деятельность: пастбищное животноводство, автотранспорт, неочищенные городские сточные воды ливневой канализации. Максимально пластичными к таким условиям оказались *Halteria grandinella*, *Litonotus lamella*; *Coleps hirtus*, *Paramecium caudatum*, *Uronema sp.* и *Cyclidium sp.* (которые обнаружены во всех малых водоемах); чуть менее пластичными оказались еще 20 морфовидов (они обнаружены в трех водоемах из четырех). Во всех малых озерах района р. Таранай встречались *Askenasia volvox*, *Pseudocristigera hymenofera* и *Coleps spetai*, которые отсутствовали во всех горно-равнинных водотоках с сильным течением.

Выявлено, что таксоценозы сообщества инфузорий южной части о. Сахалин (как и сообщества пресноводных объектов Приморского края) имели большее морфовидовое разнообразие в сравнении с сообществами водных объектов расположенных севернее тер-

риторий – Хабаровского края и Амурской области (соответственно 149, 110, 91 и 60 морфовидов).

Чем больше условия существования в водоеме отличаются от оптимальных для большинства видов, тем беднее по видовому разнообразию становится биоценоз и тем многочисленнее каждый отдельный вид (Лиёпа, 1988). В связи с этим на урбанизированных территориях с интенсивной нагрузкой формируется упрощенная таксономическая структура микроорганизмов с показателем «родовой насыщенности», близким к 1. Наибольшее разнообразие сообществ инфузорий по данному показателю было характерно для участков р. Комиссаровки (1,69), руч. Пригородного (1,68) и р. Б. Такой (1,65). Наименьший показатель был характерен для лагуны р. Томаринки (1,09). В водотоках было найдено больше родов, представленных только одним морфовидом (40 против 32), что также свидетельствует о более сложной таксономической структуре сообщества ресничных в реках (Быкова, 2005).

По индексу видовой дисперсии Коха (IBD) наиболее высокий показатель был в парах Красносельская-Пригородный и Рогатка-Пригородный (выше 50 %); немного меньшее видовое сходство (45 %) зарегистрировано в паре Красносельская-Рогатка (все – притоки р. Сусуи). Достаточно высокое видовое сходство (38,8–43,4 %) зарегистрировано для этих рек и с р. Томаринкой; исследованные участки этих водотоков протекают по территории населенных пунктов. При сравнении р. Лютоги с остальными водотоками более высокий процент подобия был характерен для нее и рек с высокой антропогенной нагрузкой. Наименьшее видовое сходство (29–33 %) было определено при сравнении р. Комиссаровки с участками рек, протекающими по урбанизированной территории.

В сравнении с малыми реками г. Хабаровска о меньшей антропогенной нагрузке на водотоки южной части о. Сахалин свидетельствуют вычисленные значения индекса Маргалефа (d). В своих максимальных значениях (1,03–1,18) они были значительно меньше аналогичных индексов малых рек г. Хабаровска (2,3–3,1). Это подтверждается данными ЦГСЭН по Сахалинской области и Хабаровскому краю – реки южной части о. Сахалин отнесены к категориям «слабозагрязненная» (р. Рогатка), «загрязненная» (р. Лютога) и «грязная» (р. Красносельская), а исследованные малые реки г. Хабаровска (Трибун, 2012) – к категориям «очень грязная» (р. Красная) и «экстремально грязная» (реки Черная и Березовая). Эвритопными в водотоках всего Дальнего Востока России являлись *Spirostomum teres*, *Tachysoma pellionellum*, *Stylonychia pustulata*, *Aspidisca cicada*, *Euplotes patella*, *Metopus es*, *Amphileptus procerus*, *Litonotus cygnus*, *Trithigmotoma cucullus*, *Colpoda cucullus*, *Coleps hirtus*, *Frontonia leucas*, *Lembadion lucens*, *Urocentrum turbo*, *Paramecium aurelia complex*, *Paramecium caudatum*, *Colpidium colpoda*, *Uronema sp.*, *Vorticella campanula* и *Vorticella convallaria complex*, что составляет 7 % от общего числа морфовидов, выявленных в водотоках.

Проведенный кластерный анализ состава инфузорий исследованных пресноводных объектов южной части о. Сахалин (рис. 2) позволил разделить на дендрограмме все исследованные пресноводные объекты на четыре кластера. В первый кластер вошли сообщества всех горно-равнинных водотоков (1–7). Сообщество прот. Безымянной (8) – единственного равнинного водотока, в котором присутствует слабокислая (болотная) вода, сформировало среди водотоков отдельный кластер. Сообщества инфузорий малых водоемов нижнего течения р. Таранай сформировали общий кластер. Отдельный одиночный кластер сформировало сообщество инфузорий лагуны р. Томаринки. Определяющим отличием при кластеризации являлось наличие или отсутствие постоянного течения в водном объекте. Значимого влияния на сообщество инфузорий в горно-равнинных водотоках концентрации в воде ионов (Mn^{2+} , Cu^{2+} , NH_4^+ , NO_2^- и др.) не обнаружено.

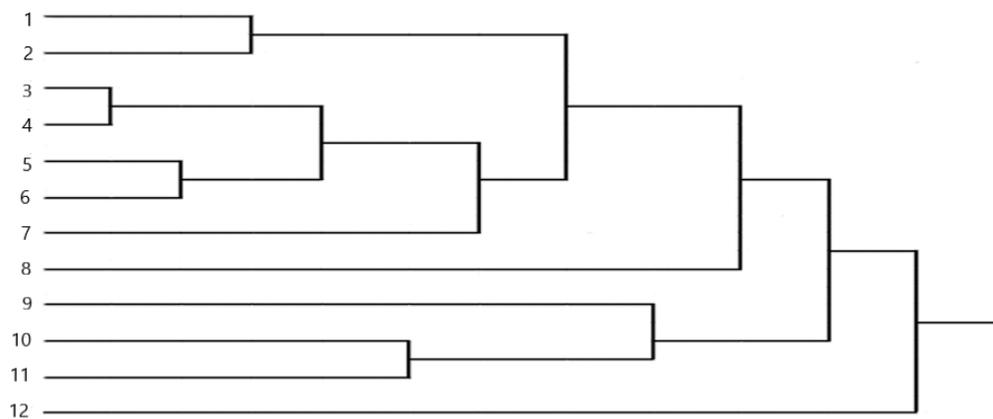


Рисунок 2 – Дендрограмма сходства сообществ инфузорий исследованных пресноводных объектов южной части о. Сахалин (метод UPGMA, индекс Чекановского – Сьеренсена):
 1 – р. Лютога; 2 – р. Б. Такой; 3 – р. Красносельская; 4 – р. Рогатка; 5 – руч. Пригородный;
 6 – р. Комиссаровка; 7 – р. Томаринка; 8 – прот. Безымянная;
 9 – оз. Восточное; 10 – оз. Западное; 11 – оз. Большое; 12 – лагуна р. Томаринки

По результатам кластерного анализа состав сообществ инфузорий как водотоков, так и водоемов южной части о. Сахалин существенно отличался от сообществ Ciliophora в подобных объектах материковой части региона. Среди водотоков (рис. 3) наибольшее сходство показали сообщества инфузорий р. Рогатки и руч. Пригородного, протекающих по территории г. Южно-Сахалинска, а также р. Лютоги и р. Красносельской (южная часть о. Сахалин). Из остальных лотических объектов наиболее близкими по составу оказались сообщества инфузорий р. Красной и р. Березовой (обе – Хабаровский край).

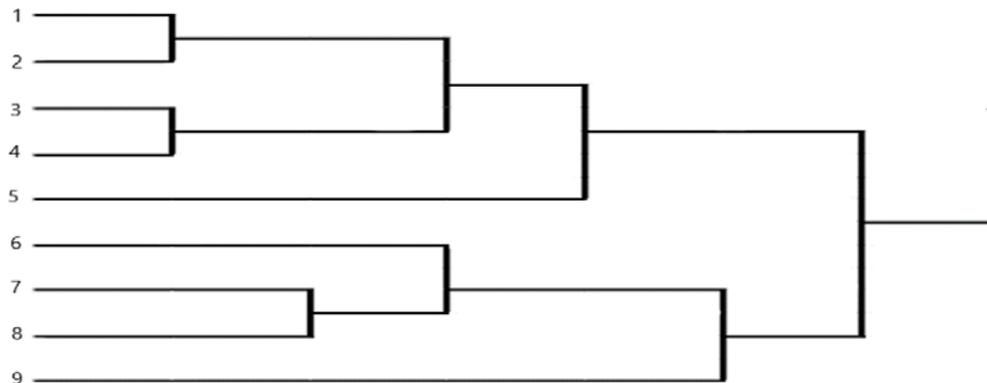


Рисунок 3 – Дендрограмма фаунистического сходства сообществ инфузорий исследованных водотоков Дальнего Востока России (метод полной связи, индекс Чекановского – Сьеренсена):
 1 – р. Лютога; 2 – р. Красносельская; 3 – р. Рогатка; 4 – руч. Пригородный;
 5 – прот. Безымянная; 6 – р. Черная (Хабаровский край);
 7 – р. Березовая (Хабаровский край); 8 – р. Красная (Хабаровский край);
 9 – р. Комаровка (Приморский край)

Из лентических объектов (рис. 4) наиболее сходными по своему составу оказались сообщества инфузорий оз. Гащенко (г. Свободный) и пруда-накопителя (г. Белогорск), расположенных в Амурской области на расстоянии около 60 км. Меньшим сходством обладали сообщества инфузорий малых озер района р. Таранай, расположенные на расстоянии около 100 метров.

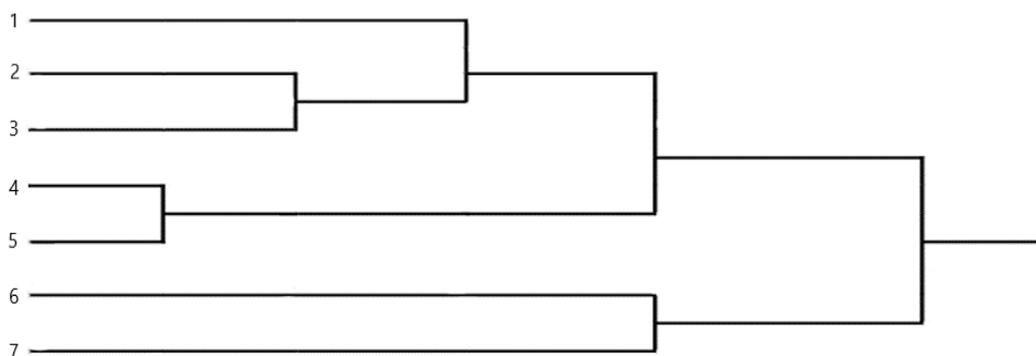


Рисунок 4 – Дендрограмма фаунистического сходства сообществ инфузорий исследованных водоемов Дальнего Востока России (метод полной связи, индекс Чекановского – Сьеренсена):
 1 – оз. Большое; 2 – оз. Западное; 3 – оз. Восточное;
 4 – оз. Гащенко (г. Свободный, Амурская обл.); 5 – пруд-накопитель (г. Белогорск, Амурская обл.); 6 – первичный отстойник пос. Березняки (Хабаровский край); 7 – вторичный отстойник пос. Березняки (Хабаровский край)

Сообщества инфузорий техноценозов (6 и 7) существенно отличались от сообществ естественных биоценозов (1–5), несмотря на сильное загрязнение последних.

Глава 5. Экологические особенности инфузорий в исследованных пресноводных объектах южной части острова Сахалин

Размерная структура инфузорий исследованных водотоков и водоемов южной части о. Сахалин (рис. 5) соответствовала таковой для других пресноводных сообществ Ciliophora, максимальное разнообразие в которых приходилось на мелкие-средние размеры (Бурковский, 1984; Оболкина, 2003).

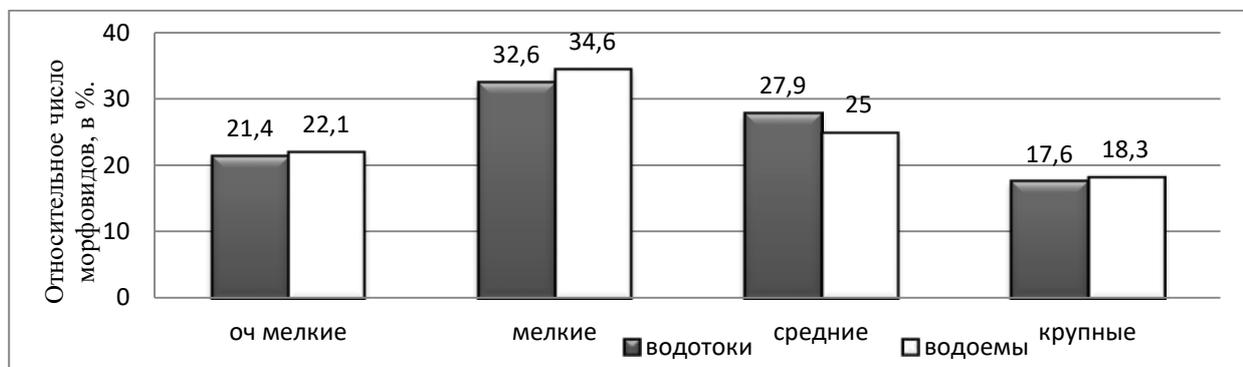


Рисунок 5 – Число морфовидов инфузорий различных размерных групп в пресноводных сообществах южной части о. Сахалин. Очень мелкие (по Жарикову, 1996) – до 40 мкм, мелкие – 40–100 мкм, средние – 100–200 мкм, крупные – более 200 мкм

При этом размерная структура этих сообществ более сглаженная, значительное доминирование инфузорий мелкой размерной группы, как в сообществах г. Хабаровска (Трибун, 2021), отсутствует. Около 31 % морфовидов имели тенденцию к уменьшению своего размера (в рамках диапазона, определенного для вида), что может свидетельствовать об ограниченности пищевых ресурсов для многих инфузорий (в первую очередь в водотоках – дно в них покрыто галькой, отложения органических веществ присутствуют только фрагментарно).

По принадлежности к различным трофическим группам (рис. 6) наибольшее число обнаруженных морфовидов инфузорий (83 в водотоках и 32 в водоемах) являлись бактериодетритофагами. Трофические характеристики сообществ инфузорий в основном сходны с таковыми для исследованных пресноводных объектов материковой части Дальнего Востока России. Как и в других водных объектах региона, группы гистофагов и фототрофов представлены наименьшим их числом – в водотоках их 2 и 3, в водоемах – по 2 в каждой группе. Группа альгофагов в исследованных водотоках составляет 21 морфовид (15,4 %), в водоемах – 4 (5,8 %). Трофическую нишу хищников в пресноводных объектах южной части о. Сахалин занимают в основном неселективные всеяды (в водотоках их было 23 и в водоемах – 14), не имеющие специализации на питании только другими одноклеточными простейшими.

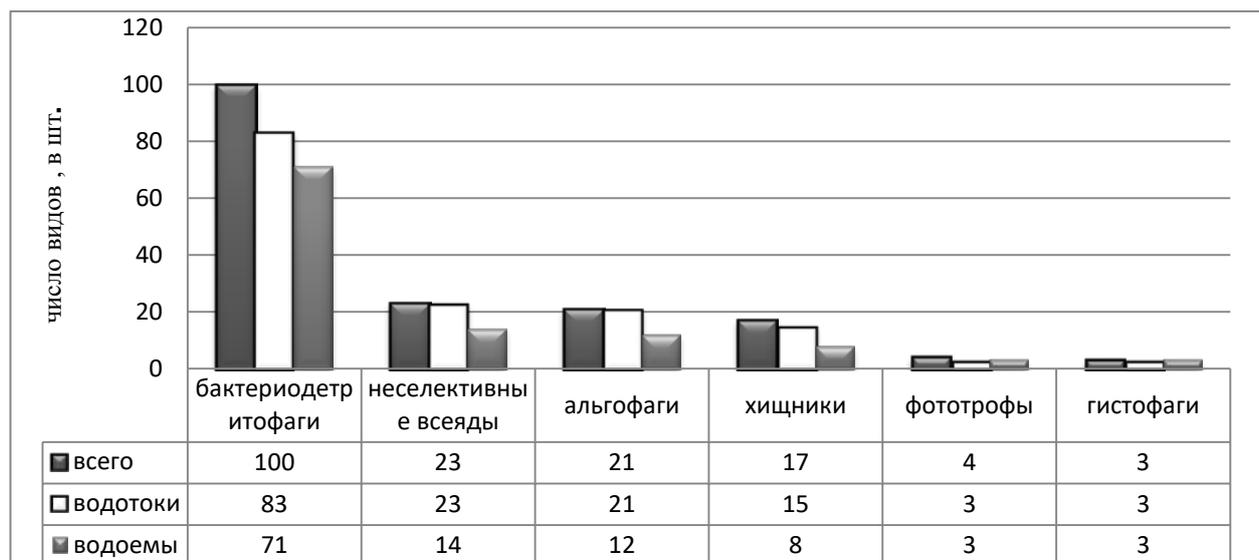


Рисунок 6 – Количество морфовидов инфузорий, относящихся к различным трофическим группам в водотоках/водоемах южной части о. Сахалин

Определяющим фактором в экологическом распределении инфузорий в реках является скорость течения, так как она не должна превышать 0,25 м/с (Дубовская, 2009). В связи с этим в горно-равнинных водотоках со скоростью течения около 1 м/с большинство представителей Ciliophora принадлежат к бентосной и (или) перифитонной экологическим группам. Для водоемов определяющими факторами выступают наличие (или отсутствие) доступных питательных веществ, присутствие в водоеме хищников и для группы миксотрофов – солнечный свет. В связи с этим в старичных мелководных водоемах основу сообществ пресноводных инфузорий обычно составляют бентосные формы, приуроченные к проживанию на дне или в самом грунте. Во всех исследованных объектах около половины от общего числа обнаруженных морфовидов являлись «переходными» – они способны занимать несколько экологических ниш (поэтому разные авторы могут относить их к различным экологическим группам). В водотоках (рис. 7) эта группа составила 66 морфовидов (52 %), а в малых водоемах – 54 (52,4 %). Такие инфузории лучше адаптируются к изменяющимся условиям среды. Самая немногочисленная группа – эпибионты (1 % морфовидов на рачках отряда Cladocera), в водотоках эта группа отсутствовала. Из остальных групп экотопа во всех объектах преобладали инфузории группы бентоса, за исключением р. Комиссаровки (наиболее чистый водоток с фрагментарными отложениями органики) и оз. Восточного (где в грунте присутствовал сероводород). В этих двух объектах преобладали инфузории группы перифитона.

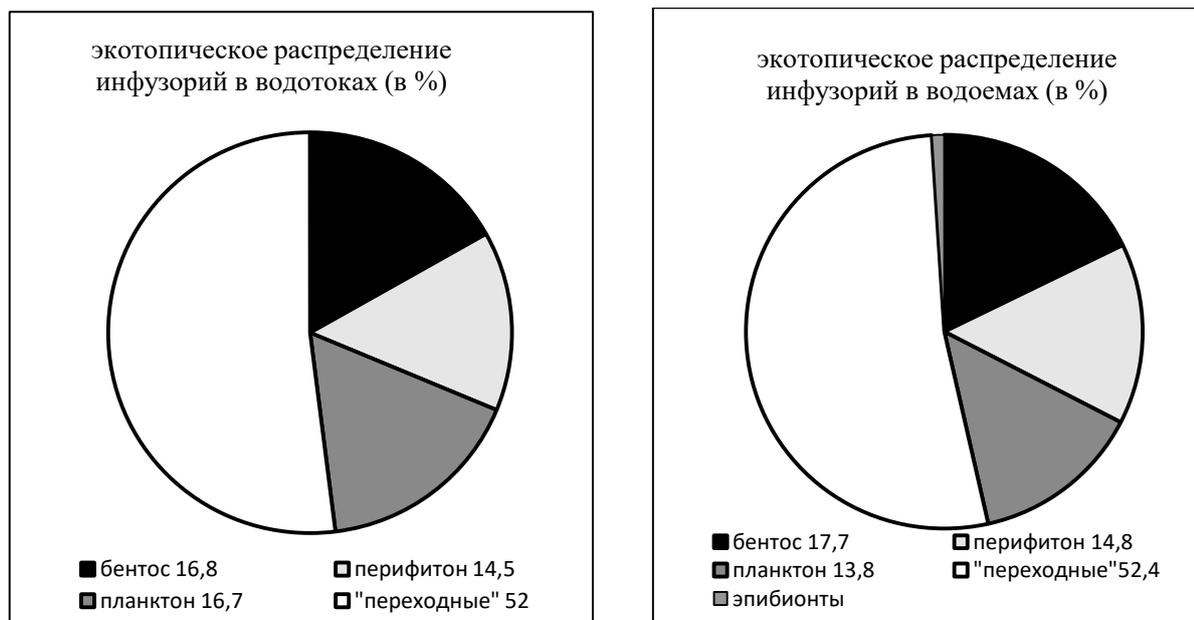


Рисунок 7 – Экопическое распределение инфузорий в исследованных водотоках/водоемах южной части о. Сахалин

Высокие показатели встречаемости (по Йогансену) во всех реках не зарегистрированы ни у одного из морфовидов. В отдельных водотоках он был характерен для *Paramecium caudatum* (реки Лютога, Б. Такой и Томаринка), *Uronema sp.* и *Cyclidium sp.* (реки Лютога и Комиссаровка), *Stylonychia pustulata* (р. Комиссаровка), *Chilodonella uncinata* (р. Красносельская) и *Halteria grandinella* (р. Томаринка). Показатель их встречаемости колебался от 52,6 до 68,9 %. Наиболее пластичный к условиям существования – *Paramecium caudatum*, он достаточно часто встречался в семи водотоках из восьми (30,4–67,6 %). Число редких и «случайных» инфузорий в пробах рек Лютоги, Красносельской, Рогатки; в руч. Пригородном и в прот. Безымянной колебалось от 91,9 до 96 %, что может свидетельствовать о наличии значимого загрязнения исследованных водотоков.

Большинство инфузорий в исследованных водотоках являлись бактериодетритофагами, которые более чем в два раза превышали число остальных морфовидов в каждом из исследованных водотоков. Относительно многочисленными были группы неселективных всеядов – от 7,4 (р. Комиссаровка) до 25 % (р. Томаринка), а также альгофагов – от 6,8 (р. Томаринка) до 15,4 % (р. Рогатка). Остальные трофические группы (хищники, фототрофы, гистофаги) составляли 1,5–6,8 %. По принадлежности инфузорий к различным группам экотопа больше морфовидов во всех водотоках относились к группе бентоса, за исключением р. Комиссаровки, где большинство морфовидов являлись представителями перифитона. Многие представители бентосных организмов являлись постоянными обитателями не только самого бентоса, но и других групп экотопа (эти виды также были отнесены к группе «переходных»).

В водоемах подавляющее большинство инфузорий также являлись бактериодетритофагами (68,3 %). Остальные трофические группы представлены (в каждом водоеме) менее 10 морфовидами. По принадлежности к экотопу в исследованных малых озерах больше морфовидов инфузорий относились к группе бентоса, только в оз. Восточном преобладающей группой также оказались перифитонные инфузории (48). Больше всего бентосных ресничных (45) было обнаружено в оз. Большом, немного меньшее их число (43) встретилось в оз. Восточном. Наименьшее число инфузорий в озерах относилось к планктонной группе. Большое разнообразие ресничных, обитающих в придонном слое можно объяснить наличием во всех исследованных озерах толстого слоя ила.

В пресноводных объектах южной части о. Сахалин группы бентоса, перифитона и планктона представлены примерно равным соотношением морфовидов, в отличие от сообществ инфузорий водных объектов г. Хабаровска (Трибун, 2021), где преобладающими являлась инфузории группы бентоса.

Для исследованных малых водоемов южной части о. Сахалин IBD Коха изменялся от 13,1 до 27,8 %. Такой процент характеризует низкое сходство между сообществами инфузорий исследованных водоемов и подтверждает, что в каждом из них формируется свое, достаточно специфичное сообщество ресничных. Показатель «родовой насыщенности» в лагуне приближался к единице (1,09), что является (Лиёпа, 1988) подтверждением факта высокой антропогенной нагрузки на объект. По этому показателю она является самым загрязненным пресноводным объектом Дальнего Востока России.

Глава 6. Сапробность пресноводных объектов и типы сообществ инфузорий в исследованных экосистемах южной части острова Сахалин

Для большинства выявленных инфузорий с использованием данных по индикационному значению пресноводных видов (Foissner, 1991–1995; Быкова, 2005; Чорик, 1968 и др.) была установлена категория сапробности и на основании этих данных определена степень загрязнения исследованных водных объектов.

Большинство морфовидов инфузорий в водотоках (рис. 8) относились к индикаторам α -мезосапробной группы организмов, на втором месте по встречаемости во всех водотоках, кроме р. Рогатки – ресничные β -мезосапробной группы.

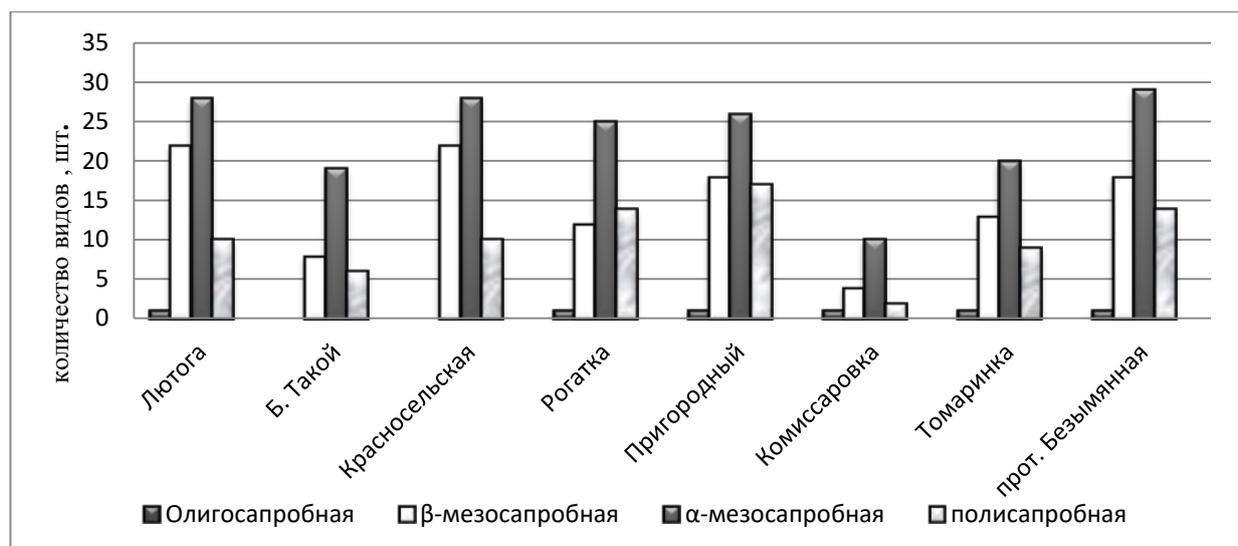


Рисунок 8 – Количество морфовидов инфузорий, являющихся индикаторами различных зон сапробности в исследованных водотоках

Несмотря на большое число морфовидов, предпочитающих сильнозагрязненные воды (полисапробы), их представительство в каждом водотоке было невелико. Согласно рассчитанному индексу сапробности S (по формуле Pante, Bick в модификации Чертопруд, 2002), исследованный участок прот. Безьянной ($S = 2,78$) соответствовал α -мезосапробной зоне самоочищения водного объекта, участки рек Большой Такой ($S = 1,51$) и Томаринки ($S = 1,81$) в местах исследования – к β -мезосапробной зоне. Остальные водотоки: реки Комиссаровка, Лютога, Рогатка, Красносельская и ручей Пригородный – на исследованных участках принадлежат к олигосапробной зоне ($S = 1,28–1,44$).

В водоемах наибольшее число морфовидов инфузорий также являлись индикаторами α -мезосапробной зоны (рис. 9). По составу и встречаемости доминирующих морфовидов

дов эти водоемы следует отнести к водным объектам α -мезосапробной зоны самоочищения. Инфузории – индикаторы полисапробной зоны загрязнения водного объекта – составляли значительный процент морфовидов (20,8 %) в этих водоемах. Рассчитанный индекс сапробности S исследованных водоемов составил от 2,85 для оз. Западного до 3,00 для лагуны и оз. Большого, что соответствует α -мезосапробной зоне водного объекта.

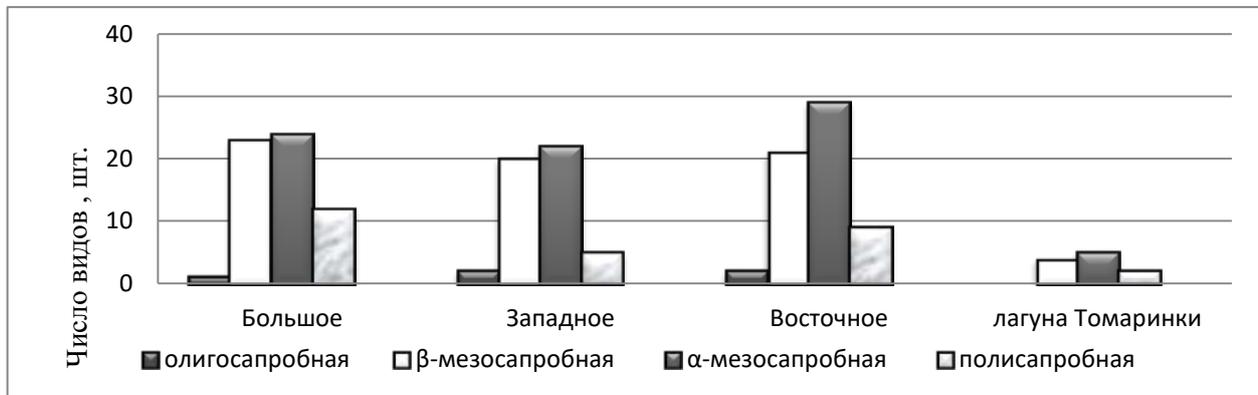


Рисунок 9 – Количество морфовидов инфузорий, являющихся индикаторами различных зон сапробности в исследованных водоемах

Анализируемые объекты значительно отличались друг от друга параметрами среды обитания, поэтому в исследованных гидробиоценозах можно выделить шесть типов сообществ инфузорий, отличающихся по своему составу и структуре.

В быстрых (горных, горно-равнинных) водотоках, на перекатах с песчано-галечными отложениями, где практически отсутствуют органические отложения, а вода насыщена кислородом, основу сообщества составляли *Stylonychia mytilus complex*, *St. putrina*, *St. pustulata*, *Vorticella convallaria complex* и *Halteria grandinella*; а на участках рек с большим количеством органических отложений и в водотоках с повышенным содержанием в воде растворенных солей – *Paramecium caudatum*, *Litonotus cygnus*, *Frontonia leucas*, *Coleps hirtus*, *Vorticella octava complex*, *Stentor roeselii*, *Chilodonella uncinata* и *Euplotes eurytomus*.

На участках водотоков, где присутствовала лососевая снетка, преобладали *Spirostomum ambiguum*, *Paramecium caudatum*, *Urocentrum turbo*, *Uronema sp.* и *Cyclidium sp.*, *Frontonia leucas*, *Stentor roeselii*, *Aspidisca turrita* и *Steinia platystoma*.

В малых прибрежных ручьях со слабокислой водой и более медленным течением в сообществе чаще других встречались *Urozoa buetschlii*, *Dexiostoma campylum*, *Euplotes patella*, *Uronema sp.* и *Cyclidium sp.*, *Glaucoma reniforme*, *Homalozoon vermiculare* и *Frontonia angusta*.

В менее загрязненных малых водоемах с большими иловыми отложениями в основе сообщества присутствовали *Halteria grandinella*, *Askenasia volvox*, *Spirostomum ambiguum*, *Stentor polymorphus*, *Coleps hirtus*, *Chilodonella uncinata*, *Uronema sp.* и *Cyclidium sp.*, а в наиболее загрязненных – *Spirostomum teres*, *Metopus es*, *Plagiopila nasuta*, *Caenomorpha medusula*, *Glaucoma scintillans*, *Uronema sp.* или *Cyclidium sp.*

Большинство инфузорий, составляющих ядро каждого сообщества, относились к перифитонно-бентосной группе. В состав биоценозов, кроме небольшого числа структурообразующих представителей, входили также и редкие морфовиды, которые регистрировались нами эпизодически и в малых количествах. Доля таких инфузорий в исследованных водотоках составляла от 25 до 85 %, а в водоемах – от 30 до 40 %, т.е. они формировали от 1/3 до 4/5 всего разнообразия Ciliophora исследованных водных объектов в южной части о. Сахалин.

Глава 7. Сезонная динамика в развитии сообществ инфузорий в водотоках южной части острова Сахалин

В ходе изучения сезонной динамики рассматривались р. Лютога и притоки р. Сусуи. Во всех реках (за одним исключением) наблюдалась общая зависимость – увеличение числа морфовидового разнообразия в летний период и снижение его количества в осенний (рис. 10). Исключение – система р. Сусуи осенью 2013 г.

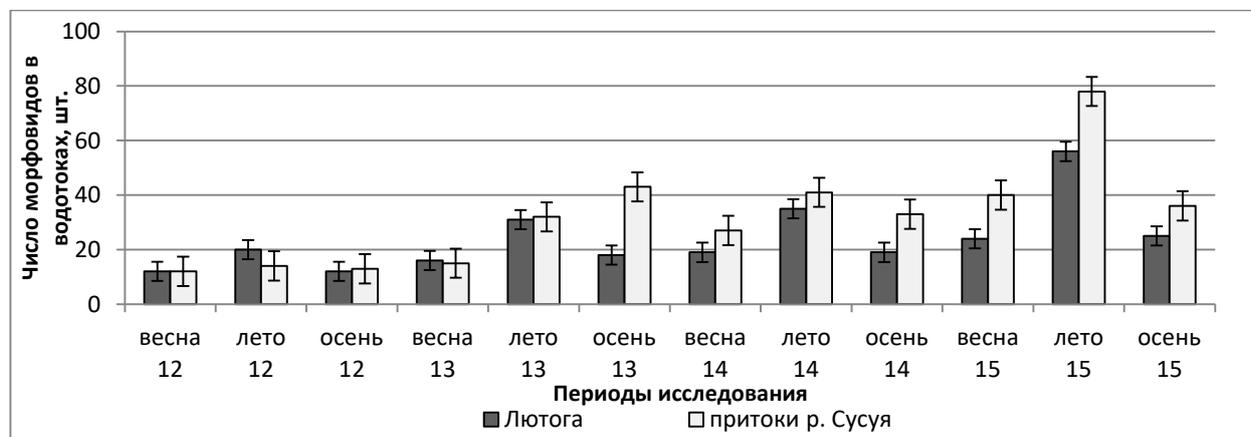


Рисунок 10 – Сезонная динамика морфовидового богатства инфузорий
в некоторых исследованных реках южной части о. Сахалин в 2012–2015 гг.
Планки погрешностей – ошибка средней

Высокой экологической пластичностью в течение сезона обладали *Stylonychia mytilus complex*, *S. pustulata*, *S. putrina*, *Halteria grandinella*, *Litonotus cygnus*, *L. lamella*, *Chilodonella uncinata*, *Frontonia leucas*, *Lembadion lucens*, *Paramecium caudatum*, *P. pultrinum*, *Uronema sp.* и *Cyclidium sp.*, *Dexiostoma campylum*, *Colpidium colpoda* и *Vorticella convallaria complex* (всего 14 %). Среди всех выявленных эти 15 морфовидов инфузорий регулярно обнаруживались нами в различных водотоках вне зависимости от сезона исследования. Совместно с колوراتками в разных сочетаниях эти инфузории составляли ядра речных экосистем микроорганизмов. Наибольшее число морфовидов инфузорий в этих водотоках в 2012–2015 гг. относилось к бентосной группе.

В течение сезона для реки Лютоги и притоков р. Сусуи численность морфовидов, принадлежащих к разным группам экотопа, отражена в табл. 4.

В группе бентоса в разные сезоны и года количество инфузорий колебалось от 37 (Лютога, весна 2012 и 2015 гг.) до 53 (Сусуя, весна 2013 г.) – 55 % (Сусуя, осень 2012 г.). Ежегодное увеличение относительного числа инфузорий в данной группе от весны к осени наблюдалось в р. Лютоге. В притоках р. Сусуи такое явление наблюдалось только в 2012 г. А в 2013 г. от весны к осени проявилась обратная тенденция – уменьшение относительного числа морфовидов данной группы в сравнении с остальными группами инфузорий. Одновременно в водотоках происходило уменьшение относительного числа инфузорий в планктонной группе (оно колебалось от 11 (осень 2014 г.) до 37 % (весна 2012 г.)), очень часто эта группа оставалась самой незначительной. Уменьшение относительного числа морфовидов в планктонной группе в р. Лютоге в течение сезона происходило ежегодно, в притоках р. Сусуи – в 2012 и в 2013 гг. Тенденции к увеличению относительного числа инфузорий этой группы за все время наблюдения зарегистрировано не было.

Таблица 4 – Соотношение числа морфовидов инфузорий в различных группах по принадлежности к определенному экотопу в сообществах рек Лютоги и Сусуи в разные сезоны в 2012–2015 гг.

Сезон		Реки					
		Лютога			Суся		
		Пл, %	Пр, %	Б, %	Пл, %	Пр, %	Б, %
2012	весна	37	26	37	30	30	40
	лето	22	34	44	21	29	50
	осень	20	35	45	18	27	55
2013	весна	29	29	42	21	26	53
	лето	20	37	43	17	35	48
	осень	12	40	48	16	40	44
2014	весна	23	36	41	17	33	50
	лето	20	35	45	24	32	44
	осень	11	39	50	19	35	46
2015	весна	23	40	37	18	36	48
	лето	21	38	41	26	34	40
	осень	14	39	47	21	33	46

Примечание. Пл – планктон; Пр – перифитон; Б – бентос.

Сезонная динамика отразилась также и на ежемесячных изменениях значений индекса Маргалефа. В р. Лютоге (рис. 11) в течение сезона 2015 г. нами зарегистрировано три пика увеличения индекса видового богатства инфузорий по Маргалефу, приходящихся на май, июль и сентябрь. Регистрируемые минимумы в сезоне приходились на июнь и август. При исследовании в 2015 г. изменений этого индекса на р. Красносельской (рис. 11) было зарегистрировано два пика, приходящихся на июль и сентябрь. В р. Рогатке и в руч. Пригородном (рис. 11) в 2015 г. регистрировались по одному пику значения индекса Маргалефа, приходящиеся на июль, август. После этого происходило достаточно резкое его снижение.

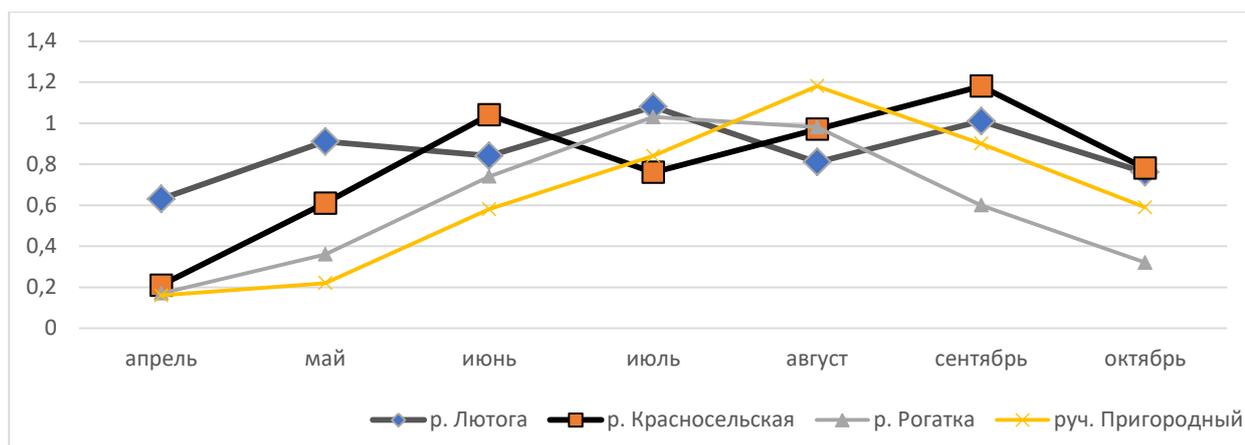


Рисунок 11 – Изменение индекса Маргалефа с апреля по октябрь 2015 г. в сообществах инфузорий рек Лютоги, Красносельской, Рогатки и руч. Пригородного

На сезонную динамику в исследованных водотоках наибольшее влияние оказывали особенности гидрологического режима и антропогенная деятельность вдоль берегов этих рек. Наиболее естественный гидрологический режим из исследованных водотоков характерен для р. Лютоги, на который оказывают влияние:

- 1) высокий уровень воды от весеннего таяния снега, который заканчивается в июне;

- 2) в июле на реке регулярно возникает летняя межень;
- 3) августовские паводки и повышение уровня воды, связанные с прохождением циклонов.

Из исследованных это единственный водоток, где в естественных условиях происходит нерест тихоокеанских лососей (выше по течению мест проведения наблюдений). Ручей Пригородный протекает по сильно урбанизированной территории – в него попадают стоки ливневых канализаций с улиц города. На р. Красносельскую значительное влияние оказывает внесение минеральных удобрений на поля по берегам реки совхозом «Тепличный» и АПХ «Тимирязевский». Река Рогатка из исследованных водотоков является наиболее зарегулированной, так как в верховьях реки располагается городское водохранилище; водный поток в реке летом часто перекрывают для накопления в нем воды, и водный поток ниже водохранилища в этот момент превращается в небольшой ручеек шириной около 10 см.

Таким образом, морфовидовое богатство инфузорий во всех водотоках увеличивалось от весеннего до летнего сезона и снижалось в осенний период. В течение сезона возможны колебания численности инфузорий, связанные с жизнедеятельностью водных организмов, гидрологическими особенностями и с антропогенной деятельностью в районе водотоков.

Глава 7. Участие инфузорий в детритной цепи питания на сненке тихоокеанских лососей в водотоках южной части острова Сахалин

В реках южной части о. Сахалин в результате естественной гибели тихоокеанских лососей, в период накопления и интенсивной переработки органических остатков от деятельности представителей Ciliophora в экосистеме водотока зависит характер и интенсивность биологического круговорота веществ и качество поверхностных вод.

Состав сообщества инфузорий в период появления в водотоках лососевой сненки был изучен в летне-осенний период в реках Лютоге и Большой Такой (приток р. Найбы). В ходе исследования в данном сообществе было обнаружено 42 морфовида инфузорий. В каждом водотоке на среде из сненки было зарегистрировано 8–9 массовых и обычных морфовидов, а общее их количество во всех водотоках составило 13.

В нерестовых водотоках в поздний летний – ранний осенний период (в р. Лютоге в местах нахождения лососевой сненки) появлялись массовые морфовиды инфузорий. Из крупных и среднеразмерных это были *Spirostomum ambiguum* (около 140–200 экз/мл), *Stentor roeselii* (100–120 экз/мл), *Steinia platystoma* (до 300 экз/мл), *Paramecium caudatum* (до 300 экз/мл), *Urocentrum turbo* (до 600 экз/мл); из мелких – *Aspidisca turrita* (до 800 экз/мл) и мелкие представители группы Scuticociliatia (до 1000–1100 экз/мл).

В 2015 г. в водотоках прослежено изменение относительного числа морфовидов в отдельных размерных группах в зависимости от сезона. Наиболее заметные изменения происходили в группах крупных и очень мелких размеров (рис. 13). Наибольший процент в них приходился на доминантные группы осеннего сезона. В остальных двух размерных группах в 2015 г. такой зависимости не наблюдалось.

В пробах рек Лютоги и Большой Такой инфузории активно передвигающихся бентосных и перифитонных форм в период появления сненки тихоокеанских лососей занимали господствующее положение в сравнении как с остальными группами простейших, так и с мелкими водными многоклеточными животными. Для наиболее исследованной в этот период р. Лютоги плотность видов R составляла 2,9, индекс видового разнообразия Шеннона (H) имел низкое значение (0,77). Следовательно, основным участником трофической цепи в данном сообществе является достаточно ограниченная группа инфузорий, массово размножающаяся на определенном этапе в месте гибели лососей.

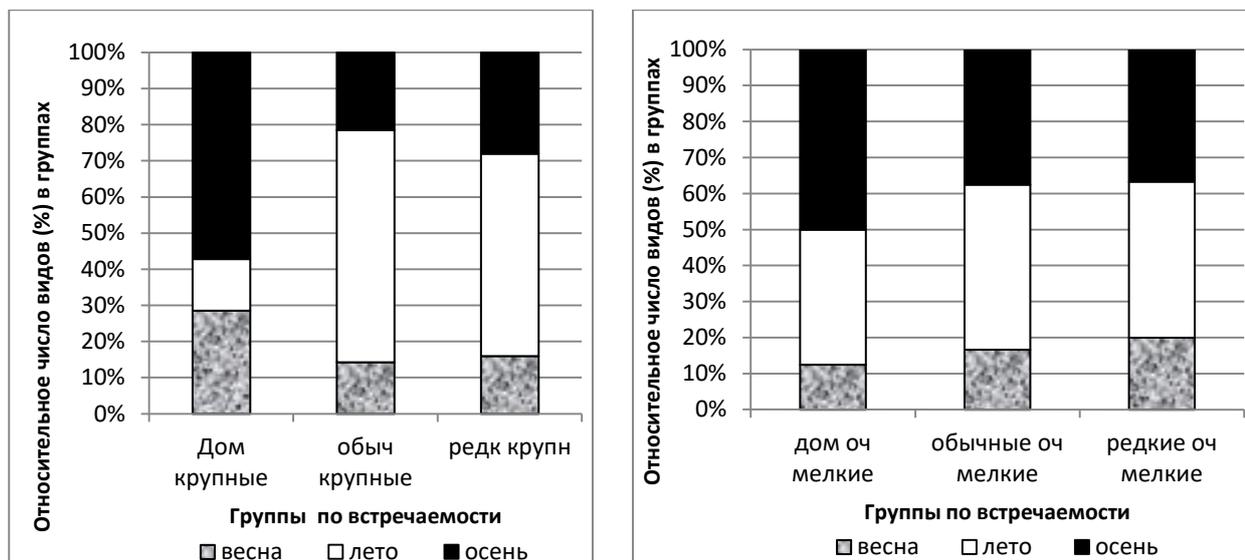


Рисунок 13 – Динамика численности морфовидов инфузорий крупных и очень мелких размеров в исследованных водотоках в течение сезона 2015 г.

Сообщество инфузорий, развивающихся на лососевой снетке имело следующие особенности:

1. В пробах в этот период значительно уменьшалось относительное число представителей группы планктона; господствующее положение занимали представители групп бентоса и перифитона. Существенно увеличивалась (при общем уменьшении числа видов в два раза) относительная доля инфузорий, относящихся к группам бактериодетритофагов и неселективных всеядов.

2. Ядро сообщества формировали интенсивно развивавшиеся в среде *Spirostomum ambiguum*, *Paramecium caudatum*, *Steinia platystoma*, *Urocentrum turbo*, *Aspidisca turrita* и мелкие представители группы Scuticociliatia. В сообществе часто встречались *Spirostomum teres*, *Stentor roeselii*, *Litonotus cygnus*, *Frontonia leucas* и *F. acuminata*, *Chilodonella uncinata* и *Tetrahymena poriformis complex*. Из 42 морфовидов, обнаруженных в данной среде, 28 являлись в этот период редкими.

3. Кроме тех видов, которые составляли ядро сообщества, среду из лососевой снетки предпочитали крупноразмерные виды, такие как *Gastrostyla mystacea*, *Paraurostyla weissei*, *Oxytricha fallax*, *Urostyle grandis*.

При определении сапробности среды с лососевой снеткой (по формуле Pantle & Buck, в модификации М. В. Чертопрада, 2002) отмечалось увеличение индекса сапробности в 1,5–2 раза.

ВЫВОДЫ

1. В ходе исследования сообществ инфузорий в 9 водотоках и в 4 малых водоемах южной части о. Сахалин обнаружено 149 морфовидов инфузорий, относящихся к 59 кладам ранга семейства. Больше всего морфовидов обнаружено в горно-равнинных водотоках – 112, в малых водоемах – 103, в равнинном водотоке – 66. Впервые зарегистрированы для пресных вод Дальневосточного региона 58 морфовидов инфузорий.

2. Сообщества инфузорий южной части о. Сахалин в сравнении с исследованными пресноводными объектами других регионов Дальнего Востока России сходны по своей трофической структуре. По морфовидовому составу сообщества отличались до 55 % в водотоках и до 64 % – в водоемах. Значительное доминирование инфузорий небольшой размерной группы, как в сообществах г. Хабаровска, отсутствует. Около 31 % морфовидов имели тенденцию к уменьшению своего размера. Группы бентоса, перифитона и планкто-

на представлены примерно равным соотношением морфовидов, в отличие от сообществ водных объектов г. Хабаровска, где преобладающими являлись инфузории группы бентоса.

3. В исследованных объектах присутствуют инфузории всех экологических групп, но преобладают бактериодетритофаги, инфузории размером от 40 до 100 мкм, способные в зависимости от условий в пресноводных объектах занимать несколько ниш в экотопе.

4. В водных объектах выделено шесть типов сообществ инфузорий, формирующихся на основе 5–8 морфовидов, относящихся в основном к перифитонно-бентосной группе. Различия состава сообществ инфузорий определяются скоростью течения, различным количеством осажженного органического вещества и рН воды в водном объекте.

5. В сезонной динамике выделяется один максимум морфовидового богатства, происходящий на летний период; при этом в сообществах инфузорий возможны от 1 до 3 внутрисезонных пика колебаний видового богатства в зависимости от гидрологии водного объекта, климатических условий и хозяйственной деятельности.

6. В сообществах преобладали инфузории, относящиеся к α -мезосапробной группе, при этом в реках численность большинства морфовидов была незначительной. Согласно рассчитанному индексу сапробности S исследованные участки большинства рек относились к олигосапробным зонам, а малые озера – к α -мезосапробным зонам самоочищения.

7. В речных системах южной части о. Сахалин в детритной цепи питания на снетке тихоокеанских лососей принимают участие 42 морфовида инфузорий; доминировали *Spirostomum ambiguum*, *Paramecium caudatum*, *Stentor roeselii*, *Frontonia leucas*, *Urocentrum turbo*, *Steinia platystoma*, *Aspidisca turrita*, *Chilodonella uncinata*, а также мелкие представители группы Scuticociliatia. Господствующее положение в сообществах в этот период занимали представители групп бентоса и перифитона. Существенно увеличивалась (при общем уменьшении числа видов в два раза) относительная доля инфузорий, относящихся к группам бактериодетритофагов, и неселективных всеядов. Среду из лососевой снетки предпочитали крупноразмерные виды, такие как *Gastrostyla mystacea*, *Paraurostyla weisssei*, *Oxytricha fallax*, *Urostyla grandis*. Индекс сапробности увеличивался в это время в 1,5–2 раза.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, индексируемых в МБД Scopus

1. Tribun, M. Fauna of ciliates (Alveolata, Ciliophora) of the southern part of the Russian Far East / M. Tribun, A. Panov, L. Nikitina // Protistology. – 2022. – Vol. 16, № 2. – P. 109–121. – doi: 10.21685/1680-0826-2022-16-2-5

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России

2. Никитина, Л. И. Экологические особенности инфузорий в детритной цепи питания р. Лютоги Анивского района Сахалинской области / Л. И. Никитина, А. Г. Панов // Вода: химия и экология. – 2014. – № 2. – С. 63–68.

3. Панов, А. Г. Видовая структура цилиофауны экосистем водотоков юга Сахалина / А. Г. Панов // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». – 2015. – Т. 12. – С. 80–87.

4. Панов, А. Г. Разнообразие инфузорий малых рек окрестностей г. Хабаровска и юга о. Сахалин / А. Г. Панов, М. М. Трибун, Л. И. Никитина // Известия ТИНРО. – 2016. – № 186. – С. 182–192.

5. Панов, А. Г. Исследование цилиофауны малых водоемов, расположенных в окрестностях с. Таранай в южной части о. Сахалин / А. Г. Панов // Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова. – 2017. – № 2 (58). – С. 15–27.

6. Панов, А. Г. Видовой состав и динамика цилиофауны малых водоемов в нижнем течении р. Таранай (юг о. Сахалин) / А. Г. Панов // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». – 2019. – Т. 29. – С. 24–39.

7. Панов, А. Г. Изменение трофической и экологической структур цилиофауны нижнего течения р. Лютоги в период появления в ней сненки тихоокеанских лососей / А. Г. Панов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2020. – № 2. – С. 90–99.

8. Панов, А. Г. Особенности видового состава и сезонной динамики цилиофауны в летне-осенний период в пресноводных водоемах нижнего течения р. Таранай (южная часть о. Сахалин) / А. Г. Панов, В. Ю. Агаширинова, С. А. Ромель // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2021. – № 2. – С. 62–73.

Публикации в других изданиях

9. Никитина, Л. И. Встречаемость некоторых видов ресничных инфузорий в водотоках южного Сахалина / Л. И. Никитина, А. Г. Панов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – № 04 (63), ч. 1. – С. 59–62.

10. Панов, А. Г. Экологические особенности инфузорий в детритной цепи питания нерестовых рек южной части острова Сахалин / А. Г. Панов // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы, результаты : сборник материалов XXII Международной научно-практической конференции. – Новосибирск : ЦРНС, 2015. – С. 16–22.

11. Панов, А. Г. Сравнительный анализ видов Ciliophora водотоков юга Сахалина природных и урбанизированных территорий / А. Г. Панов // Экология и безопасность жизнедеятельности города: проблемы и решения : материалы 5-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2016. – С. 207–212.

12. Панов, А. Г. Инфузории водотоков и водоемов г. Томари Сахалинской области / А. Г. Панов // Фундаментальные и прикладные исследования: гипотезы, проблемы, результаты : сборник материалов I Международной научно-практической конференции. – Новосибирск : ЦРНС, 2017. – С. 129–143.

13. Панов, А. Г. Изменение видового состава цилиофауны водоемов окрестностей с. Таранай юга о. Сахалин / А. Г. Панов // Universum: химия и биология. – 2018. – № 12 (54). – С. 13–16.

14. Панов, А. Г. Изменение сезонной структуры сообществ инфузорий пресноводных водотоков южного Сахалина / А. Г. Панов, С. А. Ромель // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей XIII Международной научно-практической конференции. – Пенза : Наука и Просвещение, 2018. – Ч. 1. – С. 287–292.

Научное издание

ПАНОВ Александр Геннадьевич

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СООБЩЕСТВ ИНФУЗОРИЙ
ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ
ЮЖНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА САХАЛИН**

1.5.15. Экология (биологические науки)

Редактор *В. В. Устинская*
Технический редактор *Ю. В. Анурова*
Компьютерная верстка *Ю. В. Ануровой*

Подписано в печать 29.03.2024.
Формат 60x84 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 1,4.
Тираж 100. Заказ № 90.

Издательство ПГУ.
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru