

АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛОРУССКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ ЗООЛОГИИ

На правах рукописи  
УДК : 574.586+591.1 :574.2/3 (043.3)

МИХАЕВИЧ Татьяна Васильевна

ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МШАНКИ  
*PLUMATELLA FUNGOSA* ИЗ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ  
БЕРЗОВСКОЙ ГРЭС

Специальность 03.00.18 – гидробиология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Минск – 1990 г.

Работа выполнена в Институте зоологии АН БССР

Научный руководитель: доктор биологических наук,  
профессор Н.Н. Хмелева

Официальные оппоненты: доктор биологических наук  
В.И. Попченко  
кандидат биологических наук  
В.П. Семенченко

Ведущее учреждение: Институт гидробиологии АН УССР

Защита состоится 24 декабря 1990 г. в 14<sup>00</sup> часов  
на заседании специализированного Совета 006.25.01 по  
присуждению ученой степени кандидата биологических  
наук пр<sup>и</sup> Институте зоологии АН БССР по адресу:  
220600, Минск, ул. Скорины, 27

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной  
библиотеке Академии наук БССР

Автореферат разослан 24 ноября 1990 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат биологических наук

Г.А. Семенюк

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Комплексное и рациональное использование природных ресурсов в связи с непрерывным ростом числа ТЭС и увеличением объема подогретых вод приобрело в настоящее время особую актуальность. Под влиянием многолетнего теплового пресса в водоемах-охладителях происходят резкие изменения гидрохимического и гидробиологического режимов. Наиболее важными последствиями теплового воздействия являются повышение температуры и усиление эвтрофикации. Действия взаимосвязанно, оба фактора приводят к замене аборигенных видов умеренных водоемов теплоловым комплексом организмов. Как правило, эвтрофикация водоемов сопровождается их "цветением" сине-зелеными слабо потребляемыми и часто токсичными водорослями. Выявление в этой связи всех потенциальных потребителей, способствующих переведению органического вещества сине-зеленых водорослей в детритные пищевые цепи, имеет большое практическое значение. Изучение особенностей энергетических превращений у гидробионтов из подогретых водоемов имеет также теоретическое и практическое значение в целях более эффективного использования поступающего тепла в водоемы.

Важное звено в круговороте органического вещества экосистем подогреваемых водоемов составляют в настоящее время мшанки, которым до недавних пор отводилась скромная роль в водоемах. В Учинском, Чижовском, Иваньковском водохранилищах и в водоемах-охладителях Чернобыльской АЭС, Березовской, Эмневской, Криворожской, Трипольской ГРЭС биомасса мшанки в зависимости от субстрата может достигать от 1 до 20 кг/м<sup>2</sup>. Образуя скопления значительной биомассы и потребляя взвесь, мшанка создает биологический фильтр, способствующий улучшению экологической ситуации в теплых водах.

Нетрадиционное использование мшаночной биоты и способности мшанки к седиментационной деятельности на искусственных рифах можно рассматривать перспективным мероприятием, которое позволит увеличить площадь биологического фильтра для изъятия взвеси из толщи воды и очищения водоема, образует новый биотоп для подведения коммерческих бентосных организмов, поднимет численность и биомассу бентоса и создаст дополнительную кормовую базу для рыб.

До настоящего времени продукционные исследования пресноводных мшанок в подогретых водоемах не проводились. Выполненные впервые

в этом направлении эколого-энергетические исследования расширяют наши представления о продукционных процессах в теплых экосистемах и позволяют создать основу для решения ряда задач, связанных с экологическим мониторингом и направленным формированием подогреваемых экосистем.

Цель работы. Установить количественные закономерности трансформации энергии популяции мшанки на основе данных по росту, дефекации, дыханию, размножению, структуре популяции и дать оценку функциональной роли мшанки в водоеме-охладителе.

Основные задачи исследования:

1. Установить количественные закономерности скорости дефекации и потребления кислорода мшанки из водоема-охладителя в связи с температурой обитания;
2. Количественно оценить рост мшанки в зависимости от температурных и трофических условий обитания;
3. Определить соотношение соматического и генеративного прироста в колонии мшанки;
4. Определить поток энергии через популяции мшанки и провести сравнительный анализ эффективности трансформации энергии с популяциями массовых видов бентоса из водоема-охладителя.

Научная новизна. Впервые дан анализ закономерностей роста зооида и колонии, скорости дефекации и скорости потребления кислорода мшанки из водоема-охладителя в широком градиенте температур и трофических условий. Впервые определена длительность развития органов вегетативной репродукции пресноводных мшанок (флотобластов и сессибластов) и соотношение соматического и генеративного приростов в колонии.

Установленные особенности начальных этапов роста колонии определяют трехмерность роста модулярного организма мшанки. Показано, что эффективность использования ассимилированной пищи на рост мшанки из водоема-охладителя достигает максимальных величин, известных для пойкилотермных животных. Установлено, что оптимум роста в градиенте трофических и температурных условий водоема-охладителя сдвигается в область высоких температур при низких концентрациях пищи ( $8.8 - 17.5 \text{ mg}$  сухого вещества сектон в литре), а при высоких ( $70 \text{ mg}$ ) — в область нижней зоны температурной шкалы жизнедеятельности вида в условиях водоема-охладителя.

Выявлено, что в отличие от унитарных модулярных организмов мшанки

на начальных этапах роста колонии при отсутствии неблагоприятных условий не имеет аллометрического ограничения питания и дыхания с увеличением массы, в связи с чем зависимость скорости дефекации и дыхания от массы колонии описана линейной функцией.

Используя установленную температурную зависимость количественных закономерностей дефекации, охарактеризована функциональная роль мшанки как биофильтра водоема-охладителя в утилизации органического вещества сине-зеленых водорослей. С привлечением полученных данных, характеризующих основные биологические функции, рассчитан поток энергии через популяции мшанки в разные сезоны года.

Практическое значение. На основе детальных исследований функциональной роли мшанки в водоеме-охладителе получены данные которые могут быть использованы при экологическом мониторинге и направленном формировании подогреваемых экосистем. Результаты исследований легли в основу рекомендаций по определению тепловой нагрузки на водоемы-охладители и прогнозированию возможного влияния сброса подогретых вод на биологические процессы в водоемах-охладителях ГРЭС и АЭС для Института Атомэнергопроект и Управления рыбного хозяйства Литвы.

Результаты собственных исследований и последние литературные сведения по мшанкам используются в курсе беспозвоночных на биологическом факультете БГУ им. Ленина.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены на I и 4 конференциях молодых ученых ЗИН АН БССР (Минск, 1982; 1986), 5 конференции молодых ученых Института Гидробиологии АН УССР (Киев, 1985); 8 конференции молодых ученых ИБЕВ АН СССР (Борок, 1987), 7 Всесоюзном коллоквиуме по ископаемым и современным мшанкам (Москва, 1986), 22 Всесоюзной конференции по изучению внутренних водоемов Прибалтики (Клайпеда, 1987), I Всесоюзной конференции молодых ученых-лимнологов (Ленинград, 1988), 3 Всесоюзном симпозиуме "Трофические связи и продуктивность водных сообществ" (Чита, 1989), выездном заседании Научно-консультативного совета по рыбозадаченному использованию теплых вод Ихтиологической комиссии, Белорусского отделения ВГБО и Института Зоологии АН БССР (Белоозерск, 1990).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 9 научных статей.

Объем работы. Диссертация содержит 128 страниц машинопис-

ного текста, состоит из введения, пяти глав и выводов. Иллюстрирована рисунками и таблицами. Список литературы включает отечественную и иностранных работ.

## ГЛАВА I. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Полевые и экспериментальные работы проведены на базе водоема-охладителя Верезовской ГРЭС (Брестская обл., БССР) в 1983-1989 гг. на доминирующем виде здопорифита водоема пресноводной мшанке *Plumatella fungosa* (Pallas, 1768). Определение вида подтверждено японским специалистом по филактолемам из университета Гунма Хидео Мукаи (1988). Экспериментальные исследования проведены в лаборатории сравнительной гидроэкологии Института Зоологии АН БССР, используя разработанную нами методику культивирования мшанки.

При решении поставленных задач нами были изучены на уровне зооида и колонии различные стороны жизнедеятельности мшанки, к которым можно отнести: размерно-весовые характеристики зооидов и статобластов; энергетическую ценность зооидов, статобластов, потребляемого корма и фекалий; скорость дефекации; скорость потребления кислорода; линейный рост зооидов и рост численности колонии; длительность образования генеративных продуктов и соотношение соматического и генеративного прироста в колонии мшанки; сезонную динамику структуры популяции.

Обработка материала осуществлена в соответствии с общепринятыми в гидробиологии методикой (Методы определения продукции водных животных, 1968).

Исследование скорости дефекации и скорости потребления кислорода проводили параллельно при одних и тех же температурных и трофических условиях (35 мг сухого вещества в литре). При определении дефекации и дыхания мшанки в градиенте реально существующих температур 15°-20°-25°-30°-33°-35° использованы колонии, взятые из системы водоема-охладителя: для опытов при высокой температуре — из теплого канала (33°C), для опытов при низкой температуре — из водоема-охладителя озера Белое (25°C). Перед опытом в течение 6 часов колонии мшанки акклиматизировали к задаваемым температурам. Более длительный период акклиматизации нецелесообразен, так как мшанки могли погибнуть.

Так как колонии мшанки имеют обильную населяющую их биоту, во избежание ошибок при определении выхивания колонии очищали от сопутствующих организмов.

В связи с наибольшей изменчивостью среди других физиологических показателей рост мшанки из статобластов на начальных этапах роста колонии изучали в условиях влияния двух доминирующих факторов водоема-охладителя -- в градиенте температур 20°, 25°, 30°, 33° и концентраций сестона 8.8, 17.5, 35 и 70 мг сухого вещества в литре, что соответствовало разбавлению в 4, 2 раза естественного сестона в летний период (35 мг) и сгущению его в 2 раза. Необходимые температурные поправки получены в результате собственных исследований зависимости скорости процесса (дефекации, роста, дыхания) от температуры. Основные биологические процессы колоний мшанки изучены при питании их естественным сестоном водоема-охладителя. Длительность развития статобластов и соотношение соматического и генеративного приростов изучали в колонии, выращенной на корме chlorella при 25°C, ежедневно зарисовывая схему роста колонии.

Структуру популяции мшанки изучали в месте наиболее массового развития колоний на понтонах с раборазводными садками, установленными в теплом канале системы водоема-охладителя, анализируя биомассу и численность зооидов и статобластов. Поток энергии в популяции мшанки рассматривали как:  $A = P_s + P_g + T$ . Расчет элементов энергетического баланса популяции мшанки основан на использовании данных по структуре популяции в течение года с привлечением скоростей роста, дыхания и длительности образования генеративных продуктов. Суточную соматическую продукцию ( $P_s$ ) определяли как произведение скорости роста колонии на среднюю биомассу популяции мшанки. Генеративную продукцию ( $P_g$ ) рассчитывали, исходя из скорости генеративного роста популяции.

Расчет коэффициента эффективности использования ассимилированной пищи на соматический рост ( $K = \frac{P_s}{P_s + T}$ ) проводили по интегральным величинам трат на обмен и прирост. Все величины составляющих балансового равенства рассчитаны с помощью установленных в процессе исследований зависимостей.

Полученный материал обработан статистически с помощью пакета программ на компьютере ДВК-3.

## ГЛАВА 2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БИОЛОГИИ ПРЕСНОВОДНЫХ МШАНОК И УСЛОВИЙ ОБИТАНИЯ

Пресноводные мшанки являются существенным компонентом большинства природных экосистем, а между тем их биология и связь с экологическими факторами среды почти не исследованы.

По фауне мшанок Белоруссии до 1986 года не было ни одного сообщения. До настоящего времени не известен список видов мшанок БССР, но можно ожидать, что он будет близок фауне Польши и Украины. Для фауны Украины известно 7 видов пресноводных мшанок — *Plumatella fungosa*, *P. repens*, *P. emarginata*, *P. fruticosa*, *Fredericella sultana*, *Cristatella mucedo*, *Lophoparia crystallinus* (Брайко, 1983). Для фауны Польши те же виды, но вместо последнего — *Paludicella articulate* (Копорека, Szymalkowska, 1980).

В связи с возрастающим антропогенным воздействием в водоемах в массовых количествах стали развиваться мшанки, что послужило основой дополнения традиционных фаунистических исследований эколого-энергетическими, имеющими своей целью определение функциональной роли пресноводных мшанок в новых экосистемах.

Массовое развитие мшанок определяется их клonalностью и высокой скоростью репликации. Мшанки наряду с гидроидами, губками, кораллами, колониальными асцидиями, а также большинством простейших, грибов и растений составляют в числе 19 типов многочисленную группу модульных организмов. В отличие от унитарных модульные организмы состоят из наборов мономорфических конструктивных элементов (модулей), число которых чрезвычайно изменчиво и ни разви-тие которых особенно сильно влияет окружающая среда. Если у рас-тений основной конструктивный модуль лист, то у мшанки это зооид. Если для унитарных организмов понятие особь вполне ясно, то в отношении модульных организмов терминология еще не определена. Применительно к мшанке разные авторы называют особью как целую колонию, так и зооиды. Не забывая о том, что все зооиды в колонии мшанки являются взаимосвязанными, не следует исключать и тот факт, что зооид является функциональной единицей интегрального организма колонии, выполняющей основные биологические функции — питание, дыхание, рост, размножение. С учетом этого, вероятно, разумнее пользоваться термином "генет", предложенным Каус, Наргер (1974), который означает, что "генетический индивидуум", иначе говоря колония у мшанок — это все то, что образовалось из одной зиготы или

7

статобласта в случае вегетативной репродукции у мшанок. Однако, в природных условиях бывает весьма затруднительно выделить отдельные "генеты" мшанок, так как невозможно установить, из скольких статобластов сформирована данная колония, особенно при бурном росте мшанок в теплых водах. В связи с этим гораздо большую пользу принесет изучение экологии и биологии модулей. По этой причине модулярные организмы необходимо изучать на двух взаимодействующих уровнях - уровне модуля (зооида) и уровне генета (колонии). Данными соображениями мы пользовались в нашей работе.

Распространение мшанок зависит от многих факторов. Большое значение имеет характер и наличие субстрата, особенно во время оседания личинок или статобластов. Пресноводные мшанки предпочитают слабое течение, не требовательны к свету, но чувствительны к содержанию в воде кислорода. Большинство мшанок эвритермы, но некоторые являются стенотермами, как, например, живущие в диапазоне 1-20° арктические мшанки.

В водоеме-охладителе Березовской ГРЭС мшанка *P. fungosa* обитает в широком градиенте температур в течение года — от 7-8° до 38°С. В летний период в системе водоема-охладителя характерна температура 30-33°, которая угнетает рост мшанки. Для весенних и осенних популяций предельной является 38°С, для зимних — 36°С.

Содержание растворенного в воде кислорода при повышении температуры резко снижается. В системе водоема-охладителя практически круглогодично наблюдается массовое развитие планктонных сине-зеленых водорослей (*Anabaenopsis raciborskii*, *Aphanisoshpon flos-aquae*, *Oscillatoria limnetica*). Распространение популяций мшанки в водоеме-охладителе ограничено наличием субстрата. Поскольку макрофиты в озере занимают лишь 3% его площади, а мшанка обрастает их стебли в нижней части высотой 5-10 см, биомасса ее в озере невелика. Мшанка заселяет железные понтоны, рыболоводные садки из дели, каменный щебень по берегам канала. На начальных этапах роста зооиды образовывали сферические колонии. Нарастая друг на друга, колонии мшанки постепенно создавали сплошной "ковер", достигая наибольшей биомассы на рыболоводных садках. В связи с тем, что обросты мшанки постоянно счищались с садков рабочими рыбхоза во избежание забивания дели и замора рыбы, пробы численности и биомассы обростов брали на железных понтонах, где условия обитания мшанки были стабильнее, а биомасса была также значительной.

На основании полученных данных охарактеризованы основные

весовые и энергетические показатели зооидов и статобластов мшанки. Рассчитаны коэффициенты уравнений связи сухой и сырой массы с численностью зооидов, флотобластов и сессионных.

Таблица I.  
Весовые и энергетические характеристики мшанки *P. fungosa*.

Показатели	зооид	флотобласт	сессионный
средняя сырая масса, мг	0.394	0.0167	0.0339
сухая масса, мг	0.0404	0.0059	0.0211
содержание сухого вещества, %	9.77	39.85	35.17
средняя калорийность, кал/мг сухого вещества	3.67	3.84	3.69
Энергетический эквивалент, кал/экв	0.16	0.023	0.078

### ГЛАВА 3. ЗАВИСИМОСТЬ ДЕФЕКАЦИИ, РОСТА И ДЫХАНИЯ ОТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Для выяснения функциональной роли мшанки в экосистеме водоема-охладителя необходимо изучение важнейших процессов жизненного цикла.

Дефекация. Пищей мшанки в водоеме-охладителе является сестон, доминирующее положение в составе которого занимают сине-зеленые водоросли. Поскольку мшанка образует хорошо оформленные фекальные пакеты на 95% состоящие из сине-зеленой *A. gracilis*, мы производили оценку ее седиментационной способности как биофильтра, осаждающего взвешенное органическое вещество сине-зеленых водорослей, по скорости образования фекальных пакетов в единицу времени в градиенте температур 16-35°, при которых мшанка обитает в водоеме-охладителе.

Если у унитарных организмов связь между массой тела и количеством потребляемой пищи описывается степенной зависимостью, то у модулярного организма мшанки, не имеющего запрограммированного старения, связь между массой колонии и массой выделенных ею фекалий описана нами линейной функцией. Исходя из зависимости, полученной

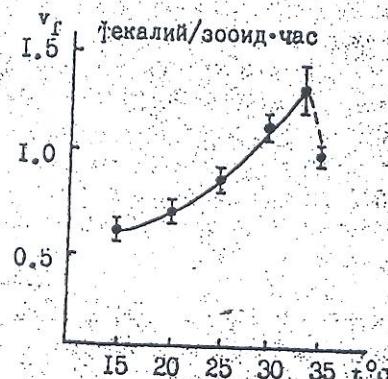


Рис. I. Температурная зависимость скорости дефекации мшанки *P. fungosa*

для колонии мшанки, нами определена температурная зависимость скорости дефекации мшанки на уровне зооида, описанная в градиенте температур 15–33° экспоненциальной функцией

$$v_f = 0.29 e^{0.045t^{\circ}C} \quad (S_y = 0.13, C.v. = 32.8, r = 0.99) \quad (I)$$

Как видно из рисунка I, повышение температуры ускоряет процесс дефекации при 20° в 1.2 раза, 25° — в 1.4, 30° — в 1.9, 33° — в 2.2 раза. Максимум скорости образования фекалий наблюдается при 33°C. Температура 35°C угнетает седиментационную активность мшанки.

**Рост.** По сравнению с организмами унитарными возможность пластичности роста у модульных организмов гораздо шире. Причина такой пластичности именно в модульности — все важнейшие жизненные функции мшанки протекают как на уровне модуля (зооида), так и на уровне всего интегрального организма (колонии).

По характеру построения модульного организма выделяют 3 типа: построение в горизонтальном направлении (рост мшанки на начальных этапах), вертикальном и сочетании первых двух типов (разросшиеся колонии кораллов и мшанок).

Рост колоний мшанки состоит в репликации мономорфических модулей (зооидов), изменчивость которых невелика. Экспансия колонии на определенных этапах ее развития достигается появлением зооидов

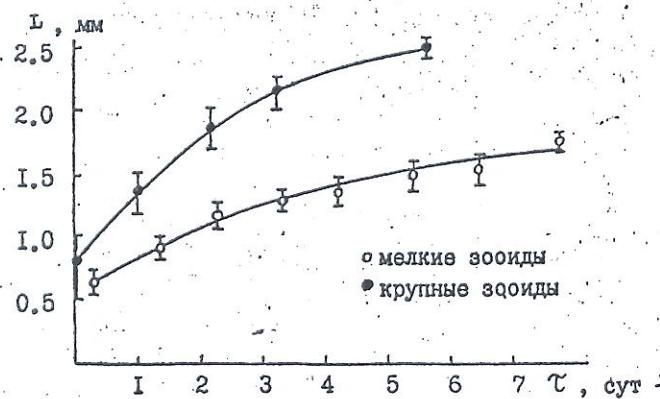


Рис. 2 . Линейный рост мшанки *P. fungosa*

- "ростовых лидеров", которые имеют большие размеры, как правило, большее число щупалец, а следовательно лучшие респираторные и пищевые условия.

Линейный рост мелких и крупных зооидов на рис. 2 описан степенной функцией вида  $y = ax^b$ .

Таблица 2

Параметры и статистические показатели к уравнениям линейного роста мелких (№2) и Крупных (№3) зооидов мшанки

ур-я	a	b	$\sigma_y$	$s_y$	c.v.	x	кол-во опр-й
2	0.98	0.30	0.34	0.12	27.4	0.99	270
3	3.13	0.18	0.68	0.30	39.5	0.96	37

Удельная скорость линейного роста крупных зооидов больше, чем у мелких на начальных стадиях роста колонии и составляет за период 1.34 сутки от выклева соответственно 0.54 и 0.34 сут<sup>-1</sup>. Таким образом скорость роста лидеров в 1.5 раза превышающая таковую мелких зооидов позволяет колонии занимать для роста новое пространство и реплицироваться в 3х измерениях.

В связи с наибольшей изменчивостью среди других физиологических

ких показателей роста мшанки на начальных этапах роста колонии из статобласта изучали в условиях влияния двух доминирующих факторов водоема-охладителя - в градиенте температур 15-33° и концентраций сестона 8,8, 17,5, 35 и 70 мг сухого в-ва в литрے. Как видно из рисунка 3, максимальные значения удельной скорости роста сухой массы колонии при низких концентрациях сестона, равных 8,8 и 17,5 мг, сдвигаются в область более высокой температуры (30-33°). Максимальные величины удельной скорости роста при высокой концентрации сестона, равной 70 мг, сдвинуты в область более низкой температуры (25-27°).

Оптимальная зона роста мшанки в летний сезон проведения исследований при среднем содержании сестона 35 мг сухого в-ва/л находится в области 25-30°. Для участка прямой 15-33° рассчитана линейная температурная зависимость удельной скорости роста сухой массы

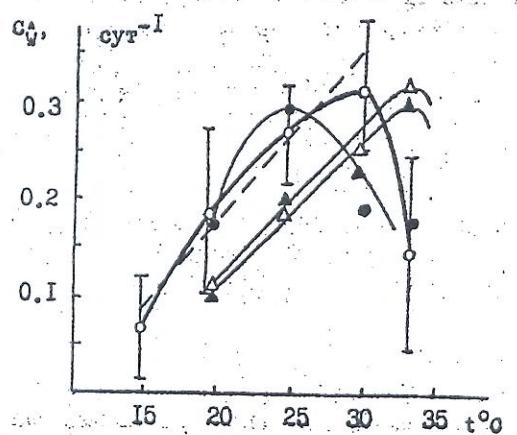


Рис. 3. Температурная зависимость удельной скорости роста сухой массы колонии мшанки при разных концентрациях сестона из водоема-охладителя

• 70    ° 35    ▲ 17,5    ▲ 8,8 мг сухого вещества/л

колонии мшанки:

$$C_w = 0.017 t^0 C - 0.17 \quad (b_y=9.11, s_y=0.005, c.v.=52.6, r=0.99) \quad (4),$$

согласно которой при 20°C  $C_w$  возрастает в 1.5 раза, 25° - в 3.8, 30° - в 4.6.

Дыхание. Как известно, у унитарных организмов связь скорости потребления кислорода с массой тела описывается степенной функцией. Причем, с увеличением массы животного наблюдается аллометрическая зависимость дыхания. Напротив, модулярные мшанки, имеющие в основной своей массе мономорфические взаимосвязанные друг с другом зооиды, аллометрического ограничения дыхания с увеличением массы колонии не имеют. Ограничителем могут выступать факторы среды — нехватка субстрата, лимит кислорода и другие. В связи с этим зависимость скорости потребления кислорода от сырой массы колонии в градиенте температур  $10^{\circ}$ – $35^{\circ}$  описана линейной функцией. Связь средней

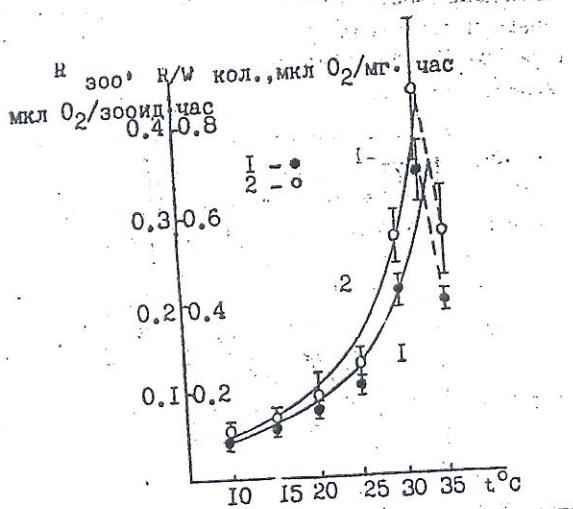


Рис. 4 . Температурная зависимость скорости потребления кислорода (I) ( $\mu$   $^{300}$ , мкл  $O_2$ /зооид·час) зооида мшанки и интенсивности дыхания колонии (2) ( $R/V$ , мкл  $O_2$ /мг·час)

скорости дыхания зооида ( $R$ , мкл/зооид · час), а также интенсивности дыхания колонии ( $R/V$ , мкл/мг · час) с температурой описана экспоненциальной функцией для участка  $10$ – $33^{\circ}\text{C}$ :

$$R = 0.015 e^{0.089 t^{\circ}\text{C}} \quad (b_y = 0.12, s_y = 0.05, c.v. = 85, r = 0.97) \quad (5)$$

$$R/V = 0.038 e^{0.089 t^{\circ}\text{C}} \quad (b_y = 0.30, s_y = 0.12, c.v. = 85, r = 0.97) \quad (6)$$

Как видно из рисунка 4, максимальная скорость дыхания зоонда в единицность обмена колонии характерны для  $33^{\circ}$ , при  $35^{\circ}$  следует такое снижение исследуемых физиологических показателей.

Соотставление величин  $Q_{10}$  для изученных биологических процессов показало, что процесс дефекации более независим от температуры –  $Q_{10}$  меняется в узких пределах. Несмотря на то, что повышение температуры в большей степени ускоряет газообмен, следует отметить совпадение температурного интервала, при котором выявлены максимальные величины скорости дыхания и дефекации –  $25-33^{\circ}$ . Высокие значения  $Q_{10}$  для скорости роста и дыхания можно объяснить существованием мшанки на верхней границе шкалы жизнедеятельности видов. Диапазон  $20-30^{\circ}$  является оптимальным для существования мшанки в водоеме-охладителе.

Таблица 2

Значения  $Q_{10}$  температурного ускорения дефекации, дыхания и удельной скорости роста мшанки *P. fungosa*

показатель	температура, $t^{\circ} C$					
	10-15	15-20	20-25	25-29	25-30	29-33
скорость дефекации	1.54	1.37	1.48	1.72	1.79	1.24
скорость дыхания		1.87	1.75	6.76	3.33	1.15
удельная скорость роста		5.11	2.82		1.43	

Таким образом с помощью различий в температурном отклике биологических процессов достигается эффект высокой пластиности модулярного организма мшанки, обитающей в условиях широких температурных колебаний в водоеме-охладителе и испытывающей значительный температурный пресс.

#### ГЛАВА 4. РАЗМНОЖЕНИЕ ПРЕСНОВОДНЫХ МШАНОК

Размножение является основной функцией организма, ответственной за его воспроизведение, сохранение во времени и пространстве.

Если при соматическом росте колоний основным конструктивным модулем является зоид, то модулем вегетативной репродукции у мшанки в водоеме-охладителе являются 2 типа статобластов – плавающие более мелкие и многочисленные флотобласти и прикрепленные более крупные и малочисленные сессобласти.

Значение статобластов для пресноводных мшанок заключается в том, что они являются видоспецифичными репродуктивными криптоизиотными структурами, сформированными в процессе адаптационного генеза к экстремальным условиям внешней среды. Они обладают физиологическим эндогенным механизмом покоя, значительной устойчивостью к различным факторам среди в широких пределах аналогично цистам простейших, спорам папоротников, мхов, галлам, яйцам и личинкам ряда червей и

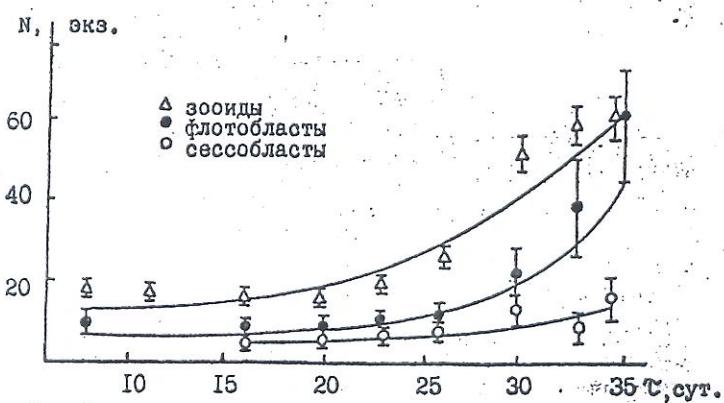


Рис. 5 . Рост численности зоидов, флотобластов и сессобластов в колонии мшанки *P. fungosa*

членистоногих, геммулям пресноводных губок, гибернакулам морских мшанок. В результате такой адаптации и устойчивости реализуется основная функция пресноводных мшанок, ответственная за их воспроизведение, сохранение во времени и пространстве – размножение.

Колония мшанки за период 35 суток численностью в среднем 61 зоид образовала 61 флотобласт и 14.7 сессобластов в отношении 4:1.

По эмпирическим данным, представленным на рис. 5, были рассчитаны уравнения экспоненциального вида зависимости количества флотобластов ( $N_7$ ), сессобластов ( $N_8$ ) и зоидов ( $N_9$ ) от длительности

роста колонии. Индексы генеративно-соматического роста, рассчитанные по энергии для флотобластов и сессобластов, находятся в соотношении 1:1.

Таблица 3  
Параметры и статистические показатели к уравнениям №7-9  
генеративно-соматического прироста колонии мшанки

№ ур-ния	a	b	б	s <sub>y</sub>	c.v.	r	n
7	1.84	0.085	20.0	20.3	98.5	0.82	47
8	1.57	0.061	3.9	8.3	46.8	0.92	22
9	7.38	0.055	19.3	29.6	65.4	0.82	54

Таким образом, несмотря на превышающую в 4 раза численность флотобластов, генеративный прирост колонии за счет флотобластов эквивалентен таковому сессобластов, имеющих в 3.6 раз больше массы. Длительность развития статобластов 2х типов также различается и составляет соответственно 5.3 суток для флотобластов и 3.8 для сессобластов.

Относительная плодовитость или индекс генеративно-соматического роста колонии за счет статобластов 2х типов составил по энергии 37%, что находится в пределах известных значений для других групп бесголовоночных. Индекс репродуктивного усилия, рассчитанный по сумме генеративных приростов 2х типов статобластов, составил 0.27.

Следует отметить, что регуляция формирования и количество того или иного типа вегетативных продуктов, а также их энергетическое соответствие в колонии мшанки связаны с различной функциональной ролью статобластов 2х типов. Роль флотобластов заключается в занятии видом возможно большего пространства, в связи с чем они образуются меньшей массой в большем количестве. Роль сессобластов состоит в обеспечении развития колонии на прежнем месте. Поскольку сессобlastы находятся в более стабильных условиях, они имеют большие размеры и образуются в меньшем количестве по сравнению с плавающими флотобластами, из которых вероятно значительная доля погибает, не прикрепившись к субстрату.

Также как неизвестен механизм регуляции формирования того или иного типа статобластов, до сих пор неизвестны механизмы выбора и/or

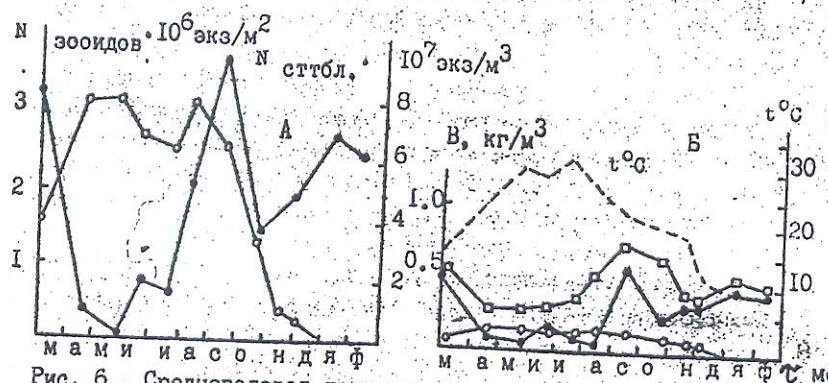


Рис. 6. Среднегодовая динамика численности зооидов и статобластов (А) и обростов мшанки (Б) в водоеме-охладителе  
оброст зооиды статобласти

нией мшанки половой или вегетативной репродукции и факторы, индуцирующие тот или иной тип размножения. Вполне вероятно, что в теплых водах мшанки используют более простой с преимущественным числом потомков, более экономически выгодный способ вегетативной репродукции в виде образования статобластов.

#### ГЛАВА 5. ОЦЕНКА РОЛИ МШАНКИ В ВОДОЕМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ

Использование данных по динамике численности и биомассы в сочетании с полученными параметрами роста, дыхания и размножения дает возможность провести оценку потока энергии, проходящего через популяцию мшанки в водоеме-охладителе.

Особенности структуры популяций мшанки определяют долю вида соматической (за счет зооидов) и генеративной продукции (за счет статобластов) в общую продукцию популяции.

Оброст мшанки представляет собой Эккомпонентное образование высотой до 3 см – верхний самореплицирующийся живой слой (зооиды), производящий генеративные продукты статобласти, которые накапливаются в отмерших трубочках зооидов (нижний неживой слой). Доля зооидов от всего оброста составляет 28% весной, 30 летом, 10 осенью и 0.95 зимой, статобластов соответственно 8, 44, 60 и 91%.

В потоке энергии через популяцию мшанки основная составляющая в весенне-летний сезон приходится на соматическую, в весенне-зимний – на генеративную продукцию, причем последняя принадлежит определяю-

Таблица 4. Догок энергии через популацию мшанки *R. fungosa* в водоеме-охладителе в разные сезоны года

Сезон	Численность зоондов, экз./м <sup>2</sup>	Биомасса зоондов, г/м <sup>2</sup>	Биомасса ячменя, г/м <sup>2</sup>	Ккал/м <sup>2</sup> ·сут			Коэффициент обработки растровой стацией, %	Коэффициент пропускания, %	Потери тепла, ккал/м <sup>2</sup> ·сезон	Процент испарения, %	Процент испарения, %	
				P <sub>s</sub>	P <sub>g</sub>	T						
ВЕСНА	2·10 <sup>6</sup>	1·4·10 <sup>7</sup>	400	317	0·39	80	1·5	33·4	115	0·70	70	1·3
ЛЕТО	2·9·10 <sup>5</sup>	2·9·10 <sup>7</sup>	430	557	0·39	133	99·0	74·4	305	0·64	44	24
ОСЕНЬ	1·4·10 <sup>6</sup>	6·0·10 <sup>7</sup>	208	1360	0·58	42	560·0	17·3	619	0·70	7	90
ЗИМА	0·09·10 <sup>6</sup>	0·6·10 <sup>7</sup>	13	14950	0·42	0·6	0·5				3	0·20
										0·045	2016	48276

щая роль. Образование генеративных продуктов в популяции мшанки начинается летом, максимум приходится на осень. В зимних отмерших обростах происходит накопление генеративных продуктов, которые мы называли "генеративным депо". Затраты энергии популяцией мшанки на метаболизм невелики и зависят от соматической составляющей. Имеющиеся в настоящее время данные свидетельствуют, что для популяций водных животных наиболее характерны величины  $K_2$  в пределах 0.2-0.4 (Винберг, 1983). По нашим данным популяция мшанки характеризуется высокой эффективностью соматического роста, приближающейся к самым малым величинам, известным для пойкилотермных животных (Зайка, 1983). Удельная продукция также высока и находится в пределах известных значений для таких обводненных животных, как гидры, асцидии, сифонофоры, гребневики и медузы.

Производя оценку участия мшанки в трансформации сине-зеленых водорослей, являющихся основным продуцентом органического вещества в водоеме-охладителе, установлено, что в летний сезон колонии мшанки, находящиеся на 1 м<sup>2</sup> субстрата, осаждают вещество, эквивалентное первичной продукции фитопланктона, образованной в объеме 74 м<sup>3</sup> "котла" теплого канала.

Сопоставление потоков энергии через популяцию сепциментатора мшанки, а также микрофагов — широко представленной в ее биоте остракоды и доминанта бентоса моллюска физеллы — показало наиболее высокие величины абсолютного значения потока энергии у мшанки. Поток энергии через популяции микрофагов остракоды и физеллы составил 7.3% от чистой продукции фитопланктона. При условии, что рацион микрофагов будет целиком состоять из осажденных мшанкой пеллет при 60%-м их усвоении, очевидно, что они способны потребить всего 0.2% энергии пеллет мшанки.

Можно утверждать, что практически все энергоемкое вещество взвеси, осажденное мшанкой из подного потока, поступает в рационы сапро- и петритофагов. Учитывая чрезвычайно низкую усвоенность потребляемой мшанкой взвеси (6.3%), а также низкий коэффициент экологической эффективности (0.1-0.5%), можно утверждать, что основная роль мшанки в водоеме-охладителе сводится к осаждению взвеси без достаточной степени утилизации пищи и поставке в донные биоценозы высокоактивного вещества сестона для его перехода в детритные ценос. Значительная продукция фекалий, образуемых популяцией мшанки за вегетативный сезон, свидетельствует о существенной роли мшанки в самоочищении.

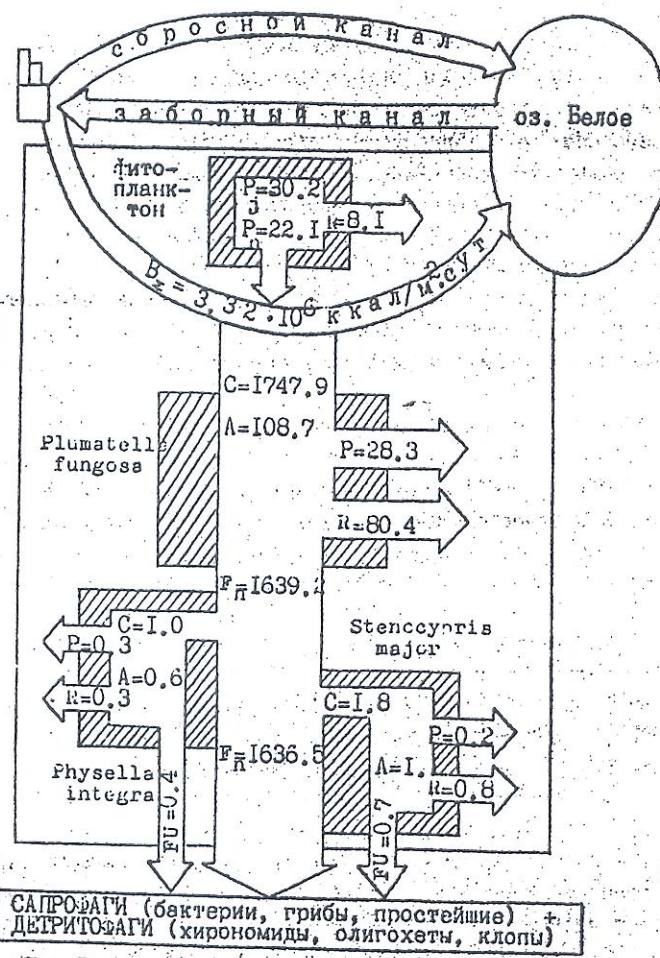


Рис. 7 . Схема трансформации органического вещества в блоке: сине-зеленые водоросли (ккал/м<sup>2</sup>·сут)-мшанки-моллюски-остракоды (ккал/м<sup>2</sup>·сут).

$B_x$  - суммарное количество энергии сестона, проходящего в канале;  $P_j$  - валовая,  $P_n$  - чистая продукция фитопланктона;  $P = P_j + P_g$  - суммарная продукция ( $P_s$  - сочленительная,  $P_g$  - генеративная);  $R$  - затраты организма на дыхание;  $A$  - ассимилированная энергия;  $C$  - рост;  $F_{II}$  - фекальные пеллеты;  $FU$  - неусвоенная пища.

водоема-охладителя.

Полагаем весьма перспективным способности мшанки к седиментационной активности и образованию специфической биоты использовать на искусственных мшаночных рифах, создаваемых в благоприятных для массового развития мшанки местах, в частности, водоемах-охладителях ГРЭС и АЭС. Искусственные рифы позволяют решить несколько задач:

1. Увеличить площадь биологического фильтра при изъятия взвеси из толщи воды и очищения водоема;
2. Создать новый биотоп для "поселения" коммерческих бентоносных организмов;
3. Создать дополнительную кормовую базу для рыб.

#### Выводы

1. Установлены количественные закономерности трансформации энергии на уровне зооида, колоний и популяции пресноводной мшанки *P. fungosa* из водоема-охладителя Березовской ГРЭС. Показано, что благодаря особенностям модулярного организма, характеризующегося автономностью модулей (зооидов), их репликацией и взаимозависимостью со всей колонией, формируется термопластичность популяции мшанки, позволяющая достичь при повышенных температурах высоких значений численности и биомассы.

2. Впервые для пресноводных мшанок показано влияние температуры на основные биологические функции – дыхание, рост и дыхание. Выявлено, что в отличие от унитарного модулярного организма мшанки не имеет аллометрического ограничения питания и дыхания с увеличением массы, в связи с чем зависимость скорости потребления кислорода и дыхания от массы колонии описана линейной функцией. Сопоставление величин  $Q_{10}$  для биологических процессов показало, что процесс дыхания более независим от температуры. Максимальные величины  $Q_{10}$  для указанных процессов отмечены в диапазоне 20–30<sup>o</sup>, который является оптимальным для жизнедеятельности мшанки в условиях водоема-охладителя.

3. Показано, что модулярность мшанки определяет значительную пластичность роста колоний, характеризующихся трехмерностью. Рост колоний состоит в репликации мономорфических модулей (зооидов) и представляет собой построение в горизонтальном направлении (на начальных этапах), вертикальном и сочетании первых двух типов. Трехмерность колоний обеспечивает ростовые зооиды – "лидеры", пользование которых направлено на занятие колонией нового пространства.

4. Установлено, что в условиях водоема-охладителя под влиянием доминирующих температурных и трофических условий колониальный рост мшанки на начальных этапах имеет свою особенности. Показано, что максимальные значения удельной скорости роста мшанки при низкой концентрации солёности (8,8-17,5) сдвигаются в область более высокой температуры ( $30-33^{\circ}$ ), при высокой концентрации солёности (70 мг сухого вещества /л) - в более низкую область ( $23-27^{\circ}$ ) температурной шкалы жизнедеятельности вида в условиях водоема-охладителя.

5. Показано, что сформированные в процессе адаптационного генеза к экстремальным условиям внешней среды у пресноводных мшанок специализированные формы криогенезной жизни в виде статобластов имеют широкие адаптивные возможности к различным факторам среды, физиологический механизм переживания этих факторов в состоянии покоя и выполняют таким образом тройную функцию: вегетативной репродукции, переживания во времени и распространения в пространстве.

Установлено, что в водоеме-охладителе мшанка размножается за счет 2-х типов статобластов - плавающих мелких и многочисленных флотобластов и прикрепленных крупных и малоисчисленных сессобластов. Несмотря на превышающую в 4 раза численность флотобластов, генеративный прирост колонии по энергии за счет флотобластов эквивалентен таковому сессобластов. Регуляция формирования и количество вегетативных генеративных продуктов в колонии мшанки связана с различной функциональной ролью статобластов 2-х типов: плавающие обеспечивают занятие новой территории, сидячие прорастают на прежнем месте.

6. Установлено, что поток энергии, проходящий через популяцию мшанки в водоеме-охладителе, определяется структурой популяции и долей вклада соматической и генеративной продукции. Весной и летом популяцию мшанки характеризует стратегия соматического роста, осенью - генеративного, с преобладанием последнего. Величина коэффициента чистой эффективности соматического роста популяции  $K_2$  и удельной продукции характеризуются максимальными величинами, известными для поликилотермных животных.

7. Установлено, что в водоеме-охладителе с низкой эффективностью утилизируются мшанкой сине-зеленые водоросли. Продукция фекалий преобладает над суммарной продукцией популяции мшанки. Основная функциональная роль мшанки как биологического фильтра водоема-охладителя.

ладителя заключается в осаждении органического вещества сестона для его перевода в детритные цепи.

8. Полученные впервые эколого-энергетические данные для пресноводной мшанки из водоема-охладителя необходимы при прогнозировании их развития в целях борьбы с обрастаниями, для экологического мониторинга и направленного формирования экосистем теплых вод.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

Михаевич Т.В. Элементы экологии мшанки *Plumatella fungosa* из водоема-охладителя Березовской ГРЭС, БССР // Мат. 7 Всес. коллоквиума по ископ. и совр. мшанкам. - М., 1986. - С. 53-56.

Михаевич Т.В. Питание мшанки *Plumatella fungosa*, из системы водоема-охладителя Березовской ГРЭС в пределах температур // Мат. 22 науч. конф. по изуч. водоемов Прибалтики. - Вильнюс, 1987. - С. 127-128.

Михаевич Т.В. Оценка седиментационной активности *Plumatella fungosa* в градиенте температур // Весн АН БССР, сер. б. яз. науок., 1988. - №1. - С. 112-114.

Михаевич Т.В. Энергетический обмен мшанки как основа расчета потока энергии // Актуальные проблемы современной лимнологии. Мат. I Всес. конф. мол. ученых. - Л., 1988. - С. 36.

Михаевич Т.В. Численность и биомасса мшанки в водоеме-охладителе Березовской ГРЭС (БССР) // Мат. Всес. конф. по проблемам кадастра и учета жив. мира. - Уфа, 1989. - Т. IV. - С. 45-46.

Михаевич Т.В. Динамика биомассы и численности мшанки в системе водоема-охладителя // Мат. б. зоол. конф. "Динамика зооценозов, проблемы охраны и использ. жив. мира". - Витебск, 1989. - С. 64.

Нагорская Л.Л., Михаевич Т.В., Ковалевская Р.З. Особенности трансформации органического вещества сине-зеленых водорослей в цепи автотрофы - седиментаторы - микрофаги // Мат. III Всес. симп. "Трофич. связи и продуктивность водных сообществ". - Чита, 1989. - С. 95-96.

Нагорская Л.Л., Михаевич Т.В., Ковалевская Р.З. Блок-схема участия седиментаторов и микрофагов в трансформации сине-зеленых водорослей водоема-охладителя // ДАН БССР, - 1990. - Т. 34. - №2. - С. 184-187.

Михаевич Т.В. Вегетативная размножение мшанки *Plumatella fungosa* в полевых и лабораторных условиях // Мат. 8 Всес. коллокв. по ископ. и совр. мшанкам. - Таллинн, 1990. - С. 60-63.