



РОССИЙСКАЯ  
АКАДЕМИЯ НАУК



ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ  
ВНУТРЕННИХ ВОД  
ИМ. И.Д. ПАПАНИНА



РОССИЙСКИЙ ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ



ВСЕРОССИЙСКАЯ  
ПАРТИЯ «ЕДИНСТВО  
И ОТЕЧЕСТВО»  
— ЕДИНАЯ РОССИЯ



# **БИОЛОГИЯ ВНУТРЕННИХ ВОД: ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И БИОРАЗНООБРАЗИЯ**

Борок  
2002



Российский фонд  
фундаментальных  
исследований



Российская  
академия наук



Институт биологии  
внутренних вод  
имю И.Д. Папанина



Всероссийская  
партия «Единство  
и Отечество»  
— Единая Россия

## **БИОЛОГИЯ ВНУТРЕННИХ ВОД: ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И БИОРАЗНООБРАЗИЯ**

Материалы XII Международной конференции  
молодых ученых  
«Биология внутренних вод:  
проблемы экологии и биоразнообразия»,  
посвященной 50-летию назначения контр-адмирала, дважды  
Героя Советского Союза И.Д. Папанина директором  
Института Биологии Внутренних Вод.

23—26 сентября 2002 г.

Борок  
2002

Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия. Материалы XII Международной конференции молодых ученых, посвященной 50-летию назначения контр-адмирала, дважды Героя Советского Союза И.Д. Папанина директором Института Биологии Внутренних Вод. 23-26 сентября 2002 г. Борок, 2002. 237 с.

В сборнике отражен широкий круг вопросов по биоразнообразию флоры и фауны, проблемам его сохранения, биологии видов, составу и структуре сообществ, оценке, мониторингу и прогнозированию состояния водных и прибрежно-водных экосистем, физиолого-биохимическим механизмам адаптации.

Представленные материалы будут полезны для специалистов в области экологии, гидробиологии, ботаники, зоологии, охраны природы и всех, интересующихся вопросами изучения, охраны и рационального использования водных и прибрежно-водных экосистем.

Научная редакция: Бобров А.А.

Минеева Н.М.

Добрынина Т.И.

Кияшко В.И.

Лазарева В.И.

Томилина И.И.

Комов В.Т.

Компьютерная верстка: Цветков А.И.

Оргкомитет выражает благодарность за оказанную поддержку Институту биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Российской академии наук, Российскому фонду фундаментальных исследований и Всероссийской партии «Единство и Отечество» — Единая Россия.

Издание выполнено при поддержке РФФИ. Грант № 02–04–58081.

## **ФИТОПЕРИФИТОН СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. СЫЛВА (БАССЕЙН КАМЫ)**

**П.Г. Беляева**

Пермский Госуниверситет, 614000, г. Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: belyaeva@psu.ru

На основе материалов полевых наблюдений 1992–2000 гг. приводятся данные о составе, количественном развитии, сезонной и межгодовой динамике фитоперифитона среднего течения р. Сылва. Рассмотрено влияние различных экологических факторов на развитие альгоценозов обрастаний, дана оценка их вклада в продуктивность водоема.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Перифитон – это специфическая экологическая группировка гидробионтов, жизнедеятельность которых протекает на границе раздела жидкой и твердой фаз, и прикрепленные формы являются эдифицирующими [13]. Сообщества прикрепленных водорослей, роль которых в экосистеме все еще остается до конца нераскрытой, характерны именно для лотических систем, особенно для малых водотоков, где фитопланктон не формирует значительных по плотности и разнообразных группировок [8]. Заселяя субстраты различного происхождения, перифитон активно влияет на процессы газового и минерального обмена в толще воды [2, 8].

Настоящая работа посвящена исследованиям структуры, динамики и продуктивности фитоперифитона среднего течения р. Сылва – притока р. Камы второго порядка, впадающего в Сылвенско-Чусовской залив Камского водохранилища.

### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Материалом исследований послужили 256 проб фитоперифитона, собранные в 1992–2000 гг. на 4–х км участке реки (в районе УНБ «Предуралье») с интервалом 7–10 дней с конца мая и до конца сентября, а в 1998, 2000 и 2001 гг. в течение всего года. Исследовали сообщества прикрепленных водорослей, развивающихся на высших водных растениях (в основном из рода *Potamogeton*); искусственных полиэтиленовых субстратах, которые ежегодно устанавливали в зарослях рдестов и считали экспериментальными моделями макрофитов; а также альгоценозы каменистых субстратов на типичных биотопах реки. Это незаиленные грунты переката (скорость течения 0.4–0.6 м/с, глубины

не более 0.7 м) и слабозаиленные гравийно-галечные валунные грунты плеса, где течение замедляется, а глубина достигает 1–4 м. Для изучения вертикального распределения эпифитона растения рдеста и их полистиленовые аналоги разрезали на пять приблизительно равных частей, с каждой из которых собирали обрастания.

Пробы отбирали и обрабатывали по стандартным методикам [4, 6, 9–12]. Учет водорослей проводили в камере Нажотта объемом 0.02 мл. При определении их таксономической принадлежности использовали определители [4, 10–12, 14], определение диатомовых водорослей проводили в постоянных препаратах [9]. Доминантами считали виды, составляющие более 20% от общей биомассы, субдоминантами – виды, составляющие более 6% биомассы.

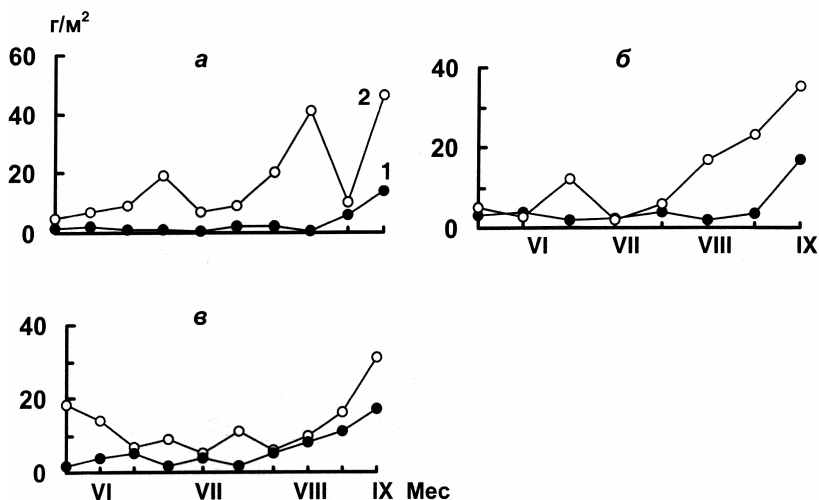
Для оценки относительной роли фитоперифитона в продуктивности растительных сообществ в 2001 г. определяли первичную продукцию. Фотосинтез фитопланктона и фитоперифитона измеряли кислородной модификацией скляночного метода [1, 3, 9], продукцию макрофитов рассчитывали по фитомассе укусов с единицы площади [9]. При пересчете скорости фотосинтеза различных сообществ в энергетические единицы использовали соотношение  $1 \text{ мг O}_2 = 3.51 \text{ кал}$  [1].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В составе фитоперифитона исследованного участка реки обнаружен 151 таксон водорослей рангом ниже рода. Как и в большинстве других водоемов, они представлены диатомовыми (92 вида), зелеными (39) и синезелеными (19). Более половины видов относится к типичным эпифитам, около 30% к бентосным и 18% к планктонным формам. Основу численности и биомассы фитоперифитона составляют диатомовые водоросли, что является типичным для предгорных рек с низкой температурой воды и высокой скоростью течения. Наибольшее разнообразие отмечено среди родов *Cymbella*, *Navicula* и *Nitzschia*.

Развитие фитоперифитона р. Сылва характеризуется выраженной сезонностью. Весной (апрель – июнь) образование альгоценозов на различных типах субстратов происходит практически заново. В июне биомасса достигает максимальных значений, далее весь июль и до середины августа происходит ее снижение. Осенью биомасса вновь увеличивается, и максимум развития водорослей приходится на сентябрь – октябрь. Зимой наблюдается значительное (в 2.5–3 раза) уменьшение биомассы, к январю – февралю большинство водорослей отмирает, и камни становятся практически чистыми. В конце зимы в пробах присутствует много мелких форм, готовящихся к размножению.

В сезонном цикле ежегодно повторяется чередование максимумов и минимумов биомассы и численности водорослей, однако сроки их наступления могут существенно меняться в зависимости от гидрометеорологических условий года. Так, холодным и дождливым летом 1994 г. при низкой температуре и высоком уровне воды биомасса фитоперифитона на всех исследованных субстратах была на порядок ниже, чем в другие годы, а в ее сезонной динамике был отмечен лишь один осенний подъем (рисунок). Сухим и жарким летом 1998 г. динамика биомассы характеризовалась несколькими подъемами.



**Рисунок.** Сезонная динамика биомассы фитоперифитона на каменистых грунтах (а), высших водных растениях (б) и искусственных субстратах (в). 1—1994 г., 2—1998 г.

Биомасса обрастаний на высших растениях ниже, чем на каменистых грунтах, и ее максимумы наступают несколько позже. Биомасса водорослей на искусственных субстратах была выше, чем на макрофитах.

Доминантные комплексы фитообрастаний, как и в других водоемах [7, 8, 11] представлены диатомовыми водорослями. В летний период это *Cocconeis placentula* Ehr., *Navicula rhynchocephala*, *Cymbella cistula* (Hemp.) Grun., осенью — *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr., *Amphora ovalis* Kütz. Состав комплексов как эпифитона, так и обрастаний каменистых грунтов изменяется по годам. В одни годы их формируют

*Navicula rhynchocephala*, *Synedra ulna* и виды рода *Nitzschia*, в другие – *Cocconeis placentula*, *Cymbella cistula*, *Amphora ovalis*. В периоды, благоприятные для развития перифитона, отмечаются мелкие быстро размножающиеся формы (*Navicula* sp., *Cymbella cistula*), в периоды депрессии – крупноклеточные (*Nitzschia* sp., *Synedra* sp., *Cymbella lanceolata* Ehr., *Amphora ovalis*).

Развитие фитоперифитона находится под влиянием факторов внешней среды. Как прямое, так и косвенное воздействие на эпифитные организмы оказывает проточность; с этим фактором связаны прогрев воды, содержание растворенного кислорода и питательных веществ [4, 5, 8]. В местах с замедленным течением может отмечаться преобладание типичных планктонных форм, обусловленное их механическим оседанием. На каменистых слабо заиленных грунтах плеса р. Сылва обнаружены и планктонные, и бентосные формы. Повышенная скорость течения и высокая прозрачность на перекате способствуют увеличению числа видов и обилия типичных обрастателей. Численность и биомасса водорослей здесь в 1.5 раза выше, чем на плесовых участках (табл. 1).

**Таблица 1.** Биоценотическая характеристика водорослевых сообществ на грунтах разных участков реки (данные 1996 г.).

Показатели	Плес	Перекат
Количество видов	87	102
Доминанты	<i>Amphora ovalis</i> , <i>Synedra acus</i> Kütz.	<i>Cymbella lanceolata</i> , <i>Synedra ulna</i> ,
Субдоминанты	<i>Cymbella cistula</i> , <i>C. lanceolata</i> , <i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.	<i>Cymbella cistula</i> , <i>Gyrosigma acuminatum</i> , <i>Amphora ovalis</i>
Биомасса, г/м <sup>2</sup>	16.0±3.2	27.3±7.4
Численность, тыс. кл./м <sup>2</sup>	709±67	1114±255

Существование темнотлюбивых и светотлюбивых форм обнаруживается при изучении вертикального распределения эпифитона на растении. С глубиной отмечается увеличение количества видов в альгоценозах, а также средней биомассы и численности водорослей. При сходном качественном составе происходит смена доминирующих видов (табл. 2). Виды *Amphora ovalis*, *Cymbella cistula* являются более светотлюбивыми, чем *Cymbella lanceolata*, а *Cocconeis placentula* одинаково хорошо развивается как на свету, так и в затенении. Можно

предположить, что развитие водорослевых обрастаний на различных частях макрофитов зависит также от степени развития растительности и возраста растений.

**Таблица 2.** Вертикальное распределение фитоперифитона на макрофитах р. Сылва.

Глубина, см	Число родов	Виды		Численность, тыс. кл./м <sup>2</sup>
		Доминанты	Субдоминанты	Биомасса, г/м <sup>2</sup>
5–10	17	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Amphora ovalis</i>	<i>Cymbella cistula</i> , <i>C. lanceolata</i> , <i>Gyrosigma</i> sp.,	<u>701</u> 0.11
30–50	16	<i>Cymbella cistula</i> , <i>Cocconeis placentula</i>	<i>Amphora ovalis</i> , <i>Gyrosigma</i> sp., <i>Cymbella lanceolata</i> ,	<u>651</u> 0.18
60–80	18	<i>Cymbella cistula</i> , <i>C. lanceolata</i>	<i>Amphora ovalis</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Synedra ulna</i>	<u>1554</u> 0.23
100–120	19	<i>Cymbella lanceolata</i> , <i>Amphora ovalis</i> ,	<i>C. placentula</i> , <i>Cymbella cistula</i> , <i>Synedra ulna</i>	<u>762</u> 0.31
130–150 (у дна)	21	<i>Cymbella lanceolata</i>	<i>Cymbella cistula</i> , <i>Amphora ovalis</i> , <i>Cocconeis placentula</i>	<u>1175</u> 1.20

До настоящего времени нет однозначного ответа на вопрос, существует ли избирательность фитоперифитона по отношению к субстрату. Количественное развитие альгоценозов, образованных на разных субстратах р. Сылва, значительно меняется. Наибольшая биомасса водорослей (в среднем 26 г/м<sup>2</sup>) отмечена на каменистых грунтах переката, свободных от заиления. Существенно ниже биомасса водорослей на слабо заиленных гравийно-галечных грунтах плесов (11 г/м<sup>2</sup>), на искусственных субстратах (9.3 г/м<sup>2</sup>) и макрофитах (7.2 г/м<sup>2</sup>). Это подтверждает зависимость количественного развития фитоперифитона от типа обрастаемого субстрата [6, 7]. Альгоценозы каменистых грунтов богаче и по видовому разнообразию, чем обрастания макрофитов (табл. 3). Это может быть обусловлено или конкурентными взаимоотношениями водорослей с высшими растениями (например, конкуренция за свет и углекислоту), или подавлением их макрофитами.



**Таблица 3.** Биоценотическая характеристика водорослевых сообществ р. Сылва, развивающихся на разных субстратах (данные 2000 г.).

Показатели	Каменистые грунты	Макрофиты
Количество видов	106	81
Доминанты	<i>Cymbella lanceolata</i> , <i>Gyrosigma acuminatum</i>	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Cymbella lanceolata</i> , <i>Navicula</i> sp.
Субдоминанты	<i>Cymbella cistula</i> , <i>Amphora ovalis</i> , <i>Synedra ulna</i>	<i>Cymbella cistula</i> , <i>Nitzschia acicularis</i>
Биомасса, г/м <sup>2</sup>	17.0±7.1	10.2±4.2
Численность, тыс. экз./м <sup>2</sup>	302±94	200±32

Мнения о продукционных возможностях фитоперифитона весьма противоречивы [1, 2, 15]. Однако он должен играть заметную роль в формировании первичной продукции в экосистеме р. Сылва, особенно если учесть, что организмы обрастаний достигают высокого обилия, а их биомасса возобновляется несколько раз за вегетационный сезон. Валовая первичная продукция фитоперифитона каменистых грунтах переката составляет 11.2 ккал/(м<sup>2</sup> сут), фитопланктона – 0.5 ккал/(м<sup>2</sup> сут), макрофитов – 1.7 ккал/(м<sup>2</sup> сут) или, соответственно, 83.6, 3.7 и 12.7% в общем фонде автотрофной продукции. Это свидетельствует о том, что основным продуцентом автохтонного органического вещества на исследованном участке реки являются водоросли перифитона.

## ВЫВОДЫ

Сезонная динамика численности и биомассы фитоперифитона р. Сылвы характеризуется двухвершинной кривой с максимумом в осенний период. Количественные и качественные различия в развитии альгоценозов связаны с типом субстрата и его специфическими особенностями. Наибольшую роль в сложении биомассы играют диатомовые водоросли.

Межгодовое варьирование количественных показателей развития фитоперифитона обусловлено особенностями гидрологических условий в годы наблюдения.

Водоросли обрастаний, являясь основными продуцентами органического вещества на исследованном участке, играют весьма существенную роль в экосистеме малой реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алимов А.Ф.* Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 225 с.
2. *Ассман А.В.* Роль водорослевых обрастаний в образовании органического вещества в Глубоком озере // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. 1953. Т. 5. С. 138–157.
3. *Винберг Г.Г.* Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во БГУ, 1960. 329 с.
4. Водоросли. Справочник. Киев: Наук. думка, 1989. 593 с.
5. *Воронихин Н.Н.* Растительный мир континентальных водоемов. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1953. 253 с.
6. *Девяткин В.Г.* Динамика развития альгофлоры обрастаний в Рыбинском водохранилище // Флора и растительность водоемов бассейна Верхней Волги. Рыбинск: ИБВВ РАН, 1979. С. 78–108.
7. *Комулайнен С.Ф.* Формирование и функционирование фитоперифитона в реках. Оперативно информационные материалы. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1999. 50 с.
8. *Косятова В.А., Эйнон Л.О.* Влияние антропогенных факторов на развитие водорослей перифитона в Ивановском водохранилище. // Водные ресурсы. 1996. Т. 23, № 6. С. 732–738.
9. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1995. 240 с.
10. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. / Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. М.: Сов. наука, 1951. 620 с.
11. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синезеленые водоросли. / Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. М.: Госиздат, 1953. 652 с.
12. Определитель пресноводных водорослей СССР: Вып. 11 (2). Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые. *Chlorophyta: Conjugatophyceae. Desmidiaceae* (2). / Паламарь-Мордвинцева Г.М. Л.: Наука, 1982. 624 с.
13. *Протасов А.А.* Пресноводный перифитон. Киев: Наук. думка, 1994. 308 с.
14. *Топачевский А.В., Масюк Н.П.* Пресноводные водоросли Украинской ССР. Киев: Наук. думка, 1984. 333 с.
15. *Юрченко В. В., Кузько О. А.* Первичная продукция в необлицованном канале // Гидробиол. журн. 1978. Т. 14, № 4. С. 13–17.

## **PHYTOPERIPHYTON OF THE SYLVA RIVER IN ITS MIDDLE PART**

**P.G. Belyaeva**

*Perm State University, 614000, Perm, Bukireva 15*

On the base of field observations carried out during 1992-2000 data phytoperiphyton composition of the Sylva river, its abundance, seasonal and inter year dynamics are under consideration. The effect of some ecological factors on phytoperiphyton development is discussed and estimation of its share in total primary production is given.

## **ФАУНА И ЭКОЛОГИЯ ВЫСШИХ РАКООБРАЗНЫХ БЕНТОСА ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БАЛАКОВСКОЙ АЭС**

**М.Ю. Воронин, М.В. Ермохин**

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского Россия,  
410026, Саратов, ул. Астраханская, 83,  
e-mail: ermokhinmv@info.sgu.ru

Фауна высших ракообразных водоема-охладителя Балаковской АЭС (Саратовская область) включает 23 вида: кумовых – 3, мизид – 3, амфипод – 16, десятиногих раков – 1. Проанализированы источники формирования фауны. Обнаружено пять новых для региона Саратовского водохранилища видов. Выявлены особенности пространственного распределения ракообразных по грунтам и глубинам, сезонная динамика их численности и биомассы.

Ключевые слова: бентос, высшие ракообразные, фауна, экология, водоем-охладитель АЭС.

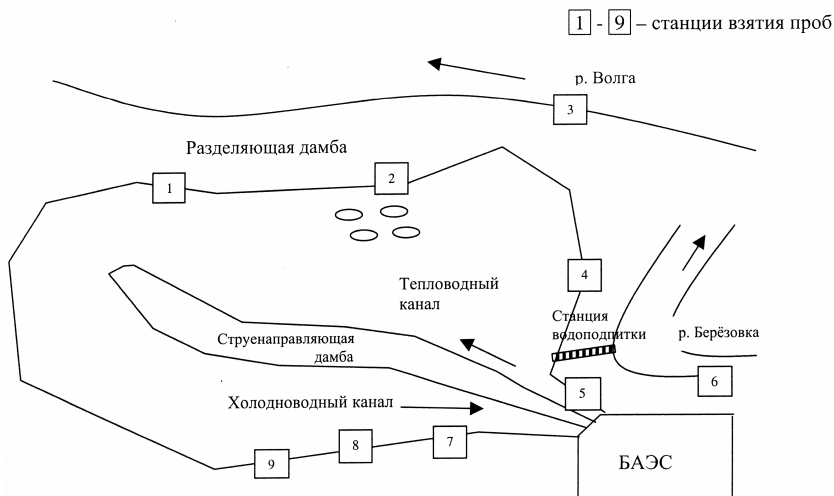
### **ВВЕДЕНИЕ**

Водоемы-охладители тепловых и атомных электростанций относятся к категории традиционно используемых для изучения влияния температуры на видовой состав, пространственное распределение и экологию популяций гидробионтов [10, 13, 14]. Своеобразный термический, гидрологический и гидрохимический режим водоемов-охладителей определяет непрерывную трансформацию структурно-функциональных характеристик сообществ гидробионтов. Изучение многолетних изменений этих показателей в условиях техногенного водоема актуально с точки зрения организации долговременного мониторинга биологических процессов и их влияния на самоочистительную способность (экосистемы) водоема-охладителя. Фауну и экологию высших ракообразных водоемов охладителей АЭС исследовали многие авторы [4]. Однако водоем-охладитель Балаковской АЭС, который начал функционировать в 1985 году, в этом отношении до настоящего времени не изучен.

В нашей работе впервые приведены сведения по видовому составу, распределению по грунтам и количественному развитию таксоценозов высших раков в условиях тепловодного и холодноводного каналов водоема-охладителя Балаковской АЭС.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал собран в 1999–2001 гг. Для изучения совместного воздействия температурного фактора и типа грунта пробы отбирали в тепловодном и холодноводном каналах водоёма-охладителя на 3 типах грунтов (песок – ст. 1, 2 и 8, ил – ст. 4 и 7, мелкий щебень – ст. 5 и 9), а также в прилежащих участках русла Волги (ст. 3, песок) и вблизи станции водоподпитки пруда-охладителя на р. Берёзовке (ст. 6, ил) (рис. 1).



**Рис. 1.** План пруда-охладителя Балаковской АЭС и места отбора проб.

Специальная схема отбора проб была разработана с учетом существующего значительного внутриводоемного градиента температур: температура воды непосредственно у водосброса (ст. 5) в среднем на 10°C выше, чем в водоёмах с нормальным температурным режимом, в тепловодном канале (ст. 1, 2, 4) – на 5°C, а в холодноводном канале (ст. 6, 7, 8) – на 3°C выше, чем в контроле (ст. 3, 6). Пробы отбирали с периодичностью 1–1.5 мес. на постоянных станциях (рис. 1) в прибрежной зоне на глубинах 0.7–1.0 м гидробиологическим скребком с шириной захвата 0.2 м. Сбор и обработку материала проводили по общепринятым гидробиологическим методикам [8, 9]. Видовую идентификацию осуществляли по [1, 3, 4, 7, 11]. Всего за период исследования обработана 81 проба.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сообщества высших раков водоема-охладителя представлены 23 видами: кумовых – 3 (*Pterocuma sowinskyi* (Sars, 1894); *Schizorinchus scabriusculus* (Sars, 1894); *Stenocuma gracilis* (Sars, 1894)), мизид – 3 (*Paramysis ullskyi* Czerniavsky, 1882; *Paramysis intermedia* (Czerniavsky, 1882); *Paramysis lacustris* (Czerniavsky, 1882)), амфипод – 16 (*Corophium mucronatum* Sars, 1895; *Corophium curvispinum* Sars, 1895; *Chaetogammarus warpachowskyi* (Sars, 1894); *Chaetogammarus ischnus* (Stebbing, 1898); *Micruropus wohli* (Dybowski, 1874); *Niphargoides intermedius* Carausu, 1943; *Dikerogammarus caspius* (Pallas, 1771); *Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894); *Dikerogammarus bispinosus* Martynov, 1925; *Dikerogammarus hemobaphes* (Eichwald, 1841); *Stenogammarus dzjubani* Mordukhay-Boltovskoy et Ljakov, 1972; *Stenogammarus similis* (Sars, 1894); *Pontogammarus robustoides* (Sars, 1894); *Pontogammarus sarsi* (Sowinsky, 1898); *Pontogammarus maeoticus* (Sowinsky, 1894); *Pontogammarus crassus* (Sars, 1894)), десятиногих раков – 1 (*Pontastacus leptodactylus leptodactylus* (Eschholz, 1823)).

Основу фауны высших ракообразных водоема-охладителя составили виды, обитавшие на месте его формирования, и ранее отмеченные другими авторами для фауны Саратовского водохранилища [2]. Большинство зарегистрированных нами видов относилось к понто-каспийской фауне, элементы древнепресноводной фауны (например, представители рода *Gammarus*) отсутствовали, что подтверждало ранее установленные закономерности о взаимном исключении этих двух групп организмов [4]. Однако, за последние два десятилетия в связи с возросшими транспортными потоками фауна Волги в районе исследований и водоема-охладителя пополнилась рядом недавних каспийских мигрантов и интродуцентов из других водоемов. Так, *Pt. sowinskyi*, *Sch. scabriusculus* ранее отмечались только в дельте р. Волги, а *St. gracilis* был известен как черноморский вид, *N. intermedius* был характерен только для Азово-Черноморского бассейна (дельты рек Днестра, Днепра, Дуная), *D. bispinosus* – из бассейна Дона. Многие виды-интродуценты в техногенных водоемах, подверженных искусственному подогреву, попадая в состав биоценозов, состоящих из аборигенных видов, достигали заметного биологического успеха, например мизиды *Limnomysis benebeni* в водоеме-охладителе на р. Северский Донец [6], *P. maeoticus* в Криворожском водохранилище в районе ГРЭС [5]. *M. wohli*, интродуцированный в Волгу холодноводный байкальский вид, наиболее многочислен среди перечисленных выше недавних вселенцев в волжский бассейн. Этот вид довольно обычен также в при-

брежной зоне Саратовского и Волгоградского водохранилищ и обитает на различных типах грунтов холодноводного канала водоема-охладителя, в тепловодном канале он сравнительно редок.

По данным М.Л. Пидгайко [12] подогрев действовал на высших ракообразных благоприятно и способствовал значительному повышению их численности на подогреваемых участках. Нами получены противоположные результаты. Бокоплавы доминировали в бентосе пруда-охладителя Балаковской АЭС, причем их численность и биомасса на тепловодных участках пруда-охладителя была ниже по сравнению с холодноводными. Роль амфипод в структуре сообществ зообентоса тепловодных участков также была меньше по сравнению с холодноводными (см. табл. 1).

**Таблица 1.** Численность (N, экз./м<sup>2</sup>) и биомасса (B, г/м<sup>2</sup>) высших ракообразных на различных типах грунтов водоема-охладителя БАЭС в тепловодном и холодноводном каналах (в числителе – абсолютные значения, в знаменателе – относительные к общей биомассе бентоса)

	Песчаный грунт		Илистый грунт		Каменистый грунт	
	N	B	N	B	N	B
Тепловодный канал	<u>106.3</u> 15.9	<u>0.55</u> 36.9	<u>245</u> 22.8	<u>1.32</u> 14.4	<u>1093.9</u> 48.0	<u>12.38</u> 14.7
Холодноводный канал	<u>1110</u> 53.5	<u>4.1</u> 73.9	<u>645</u> 64.4	<u>3.18</u> 37.9	<u>2011</u> 53.3	<u>19.77</u> 14.3

На илах в холодноводном канале доминировал *Ch. warpachowskyi*, в тепловодном канале преобладали *Ch. warpachowskyi* и *P. crassus*. На песчаных грунтах в холодноводном канале доминантом являлся также *Ch. warpachowskyi*, в тепловодном – *Ch. warpachowskyi* и *St. dzjubani*. На щебне в холодноводном канале были многочисленны *D. villosus*, *D. haemobaphes* и *Ch. Ischnus*, в тепловодном преобладали *D. villosus*, *D. haemobaphes* и *P. robustoides*.

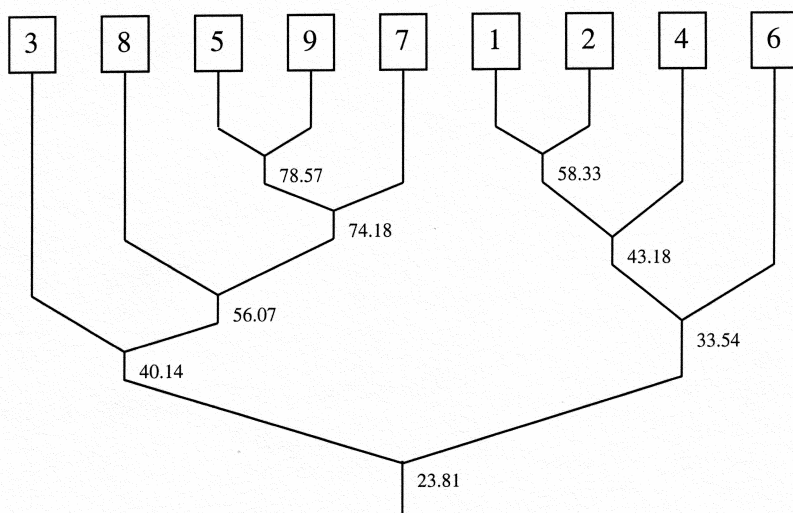
Мизиды в водоеме-охладителе Балаковской АЭС были немногочисленны. Они единично встречались на песчаных и илистых грунтах. Кумовые раки были распространены только в холодноводной части пруда-охладителя как на песчаных, так и на илистых грунтах.

В зообентосе р. Волги (ст. 3; рис. 1) нами выявлено 12 видов высших раков: кумовых раков – 1 (*Pt. sowinskyi*), мизид – 3 (*P. ullskyi*, *P. intermedia*, *P. lacustris*), амфипод – 8 (*C. mucronatum*, *M. wohli*, *D. haemobaphes*, *St. dzjubani*, *St. similis*, *P. robustoides*; *P. sarsi*, *P. mae-*

*oticus*). Доминирующее положение занимали амфиподы. Численность их достигала 819 экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 3.52 г/м<sup>2</sup>, что составило 85.3% численности и 77.5% общей биомассы зообентоса. Причём наиболее массово были представлены *St. dzjubani* и *P. sarsi*. Численность мизид составила 97.9 экз./м<sup>2</sup>, их биомасса – 0.74 г/м<sup>2</sup>, численность кумовых раков – 28.6 экз./м<sup>2</sup>, а их биомасса – 0.11 г/м<sup>2</sup>.

В зообентосе р. Берёзовка роль высших раков была незначительна. Нами отмечены единичные особи *Ch. warpachowskyi*, *P. robustoides* и *C. mucronatum*.

Сравнение видового состава высших раков различных станций проводили при помощи индекса Жаккара и построения дихотомической схемы по методу Маунтфорда (рис. 2).



**Рис. 2.** Дендрограмма сходства видового состава по индексу Жаккара станций водоема-охладителя БАЭС и р. Волги (обозначения как на рис. 1)

По общности видового состава станции объединялись в две группы. В одну группу вошли станции, располагающиеся на песчаных и илистых грунтах в тепловодной зоне (станции 1, 2 и 4), а в другую – все станции холодноводной зоны (станции 7, 8 и 9) и ст. 5 тепловодного канала, располагающаяся на каменистом грунте. Причем, наиболь-

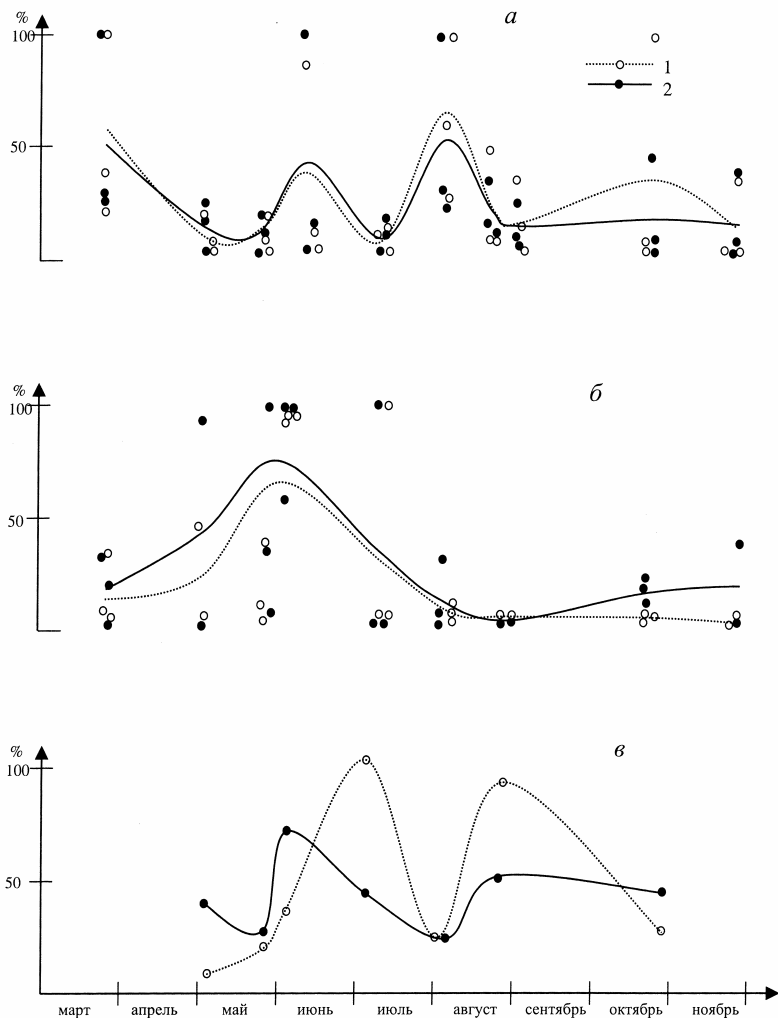


шую общность видового состава имели сообщества, расположенные на каменистом грунте в холодноводной и тепловодной зонах водоёма-охладителя (станции 5 и 9). Видимо, при формировании видового состава этих сообществ решающую роль имел характер грунта, а не температурный фактор. Напротив, фактор температуры оказывал большее воздействие на видовой состав сообществ песчаных и илистых грунтов, по сравнению с сообществами каменистого грунта.

При строительстве пруда-охладителя Балаковской АЭС, холодноводный канал был образован из русла р. Берёзовки, а тепловодный из залива Саратовского водохранилища на р. Волге. Однако в настоящее время сообщества высших раков Волги (ст. 3) сходны с холодноводным каналом пруда-охладителя, а сообщества р. Берёзовки (ст. 6) – с тепловодным каналом. Таким образом, за время эксплуатации пруда-охладителя Балаковской АЭС произошла существенная трансформация сообществ высших раков различных участков водоёма.

Сезонная динамика численности и биомассы высших раков холодноводного канала характеризовались двумя пиками: в середине июня и в начале августа (рис. 3).

Сходные закономерности динамики численности и биомассы высших ракообразных были отмечены на контрольном участке – р. Волга. Выявлены только временные смещения пиков на одну-две недели по сравнению с холодноводной частью пруда-охладителя в связи с несколько более низкой температурой. Динамика численности и биомассы высших раков тепловодной части пруда-охладителя значительно отличалась от контрольного участка на Волге и холодного канала. На тепловодном канале наблюдали только один пик обилия, что, возможно, связано с увеличением количества генераций у отдельных видов амфипод при повышении температуры воды. Пики обилия на разных станциях были асинхронизированы из-за выраженного градиента температур.



**Рис. 3.** Сезонная динамика относительной численности (1) и биомассы (2) высших раков пруда-охладителя и р. Волга (в% от максимальных показателей за сезон). 1 – численность, 2 – биомасса: а – холодноводной части пруда-охладителя, б – тепловодной части пруда-охладителя, в – р. Волга

Таким образом, нами отмечено заметное влияние сброса подогретых вод Балаковской АЭС на видовой состав, пространственное распределение и некоторые экологические особенности высших раков пруда-охладителя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас беспозвоночных Каспийского моря. М.: Пищевая промышленность, 1968. 415 с.
2. Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 348 с.
3. *Грезе И.И.* Боклопавы. Фауна Украины. Т. 26. Высшие ракообразные, вып. 5. Киев: Наукова Думка, 1985. 171 с.
4. *Дедю И.И.* Амфиподы пресных и солоноватых вод юго-запада СССР. Кишинев: Штиинца, 1980. 224 с.
5. *Загубиженко Н.И.* Донная фауна Криворожского водохранилища в районе сброса подогретых вод ГРЭС-2 // Влияние тепловых электростанций на гидрологию и биологию водоёмов: Мат. втор. симп. Борок, 1974. С. 67-68.
6. *Кудрявцева Г.С.* Устойчивость к кислородному голоданию гаммарид водоёма-охладителя оз. Лиман Змиевской ГРЭС // Влияние тепловых электростанций на гидрологию и биологию водоёмов: Матер. втор. симп. Борок, 1974. С. 83-84.
7. *Ломакина Н.Б.* Кумовые раки (*Синасеа*) морей СССР. М.-Л.: Наука, 1958. 296 с.
8. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. Зообентос и его продукция. Л., 1983. 52с.
9. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоёмов. М.: Наука, 1975. 375 с.
10. *Мордохай-Болтовской Ф.Д.* Проблема влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоёмов // Институт биологии внутренних вод. 1975. №27. С. 7-69.
11. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные, СПб: ЗИН РАН, 1995. 632 с.
12. *Пидгайко М.Л.* Влияние теплообменных вод Трипольской ГРЭС на зообентос р. Днепр // Влияние тепловых электростанций на гидрологию и биологию водоёмов: Матер. втор. симп. Борок, 1974. С. 122-124.
13. *Пидгайко М.Л., Гринь В.Г., Поливанная М.Ф.* Итоги изучения гидробиологического режима водоёмов-охладителей юга УССР. // Гидробиол. ж. 1970. №2. С. 36-44.

14. Романенко В.Д. Биологический режим водоёмов-охладителей ТЭЦ и влияние температуры на гидробионтов. // Гидробиол. ж. 1978. №3. С. 128.

## **MALACOSTRACAN FAUNA AND ECOLOGY OF BALAKOVO NES RESERVOIR-COOLER BENTHOS**

**M.U. Voronin, M.V. Yermokhin**

N.G. Tchernischevsky Saratov State University  
Russia, 410026, Saratov, Astrakhanskaya St., 83.  
e-mail: ermokhinmv@info.sgu.ru

Malacostracan fauna of a reservoir-cooler of NES of Balakovo (Saratov region) 23 species include: Cumacea – 3, Mysidacea – 3, Amphipoda – 16, Decapoda – 1. The sources of fauna formation are analysed. Five new to Saratov reservoirs region species are discovered. The features of spatial distribution crustacean on grounds and depths, seasonal dynamics of their number and bioweights are revealed.

Key words: benthos, Malacostraca, fauna, ecology, reservoir-cooler NES.

## БИОРАЗНООБРАЗИЕ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕР СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

О.Ю. Деревенская

Экологический факультет Казанский государственный университет, 420008

г.Казань, ул.Кремлевская, 18

E.mail: older@ksu.ru

Исследовались сообщества зоопланктона разнотипных озер Среднего Поволжья. Было выявлено 186 видов, из них коловраток – 77 видов (41%), ветвистоусых ракообразных – 71 вид (38%), веслоногих ракообразных – 38 видов (21%). Виды – эврибионты – *Keratella quadrata* (Muller), *Bosmina longirostris* (O.F. Muller), *Filinia longiseta* (Ehrenberg) и *Chydorus sphaericus* (O.F. Muller) распространены во всех типах озер, от олиготрофных до гипертрофных. *Kellicottia longispina* (Kellicott) наиболее часто встречается в олиготрофных, *Keratella cochlearis* (Gosse), *Asplanchna priodonta* Gosse, *Daphnia cucullata* Sars – в мезотрофных и эвтрофных озерах, в эвтрофных и гипертрофных – *Mesocyclops leuckarti* (Claus), *Brachionus angularis* Gosse, *Brachionus diversicomis* (Daday), *Brachinus calyciflorus* Pallas. Наиболее разнообразны по составу зоопланктона мезо-эвтрофные глубоководные озера карстового или старично-карстового происхождения, наименее разнообразны – искусственные. В эвтрофных и гиперэвтрофных озерах отмечались максимальные значения количественных показателей зоопланктона. Относительно низкое видовое богатство и низкие величины обилия отмечены в озерах с экстремальными экологическими условиями.

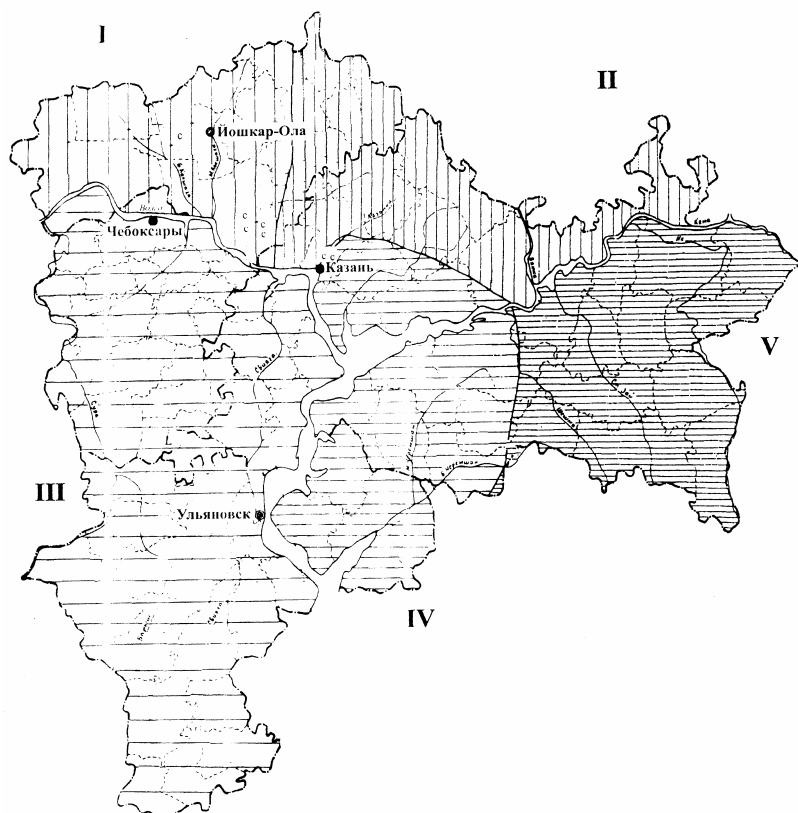
### ВВЕДЕНИЕ

Актуальность изучения биоразнообразия гидробионтов обусловлена, с одной стороны, необходимостью выявления географического распространения тех или иных видов водных беспозвоночных, их отношения к различным факторам среды, трофических взаимоотношений внутри экосистем, с другой стороны, перспективами практического использования гидробионтов. Встречаемость представителей зоопланктона в озерах разных типов обуславливается их отношением к различным факторам среды и выявляется при изучении их экологии. Практическое применение результатов исследований состоит в возможности использования биоиндикационных свойств гидробионтов с целью оценки экологического состояния водных экосистем. Уменьшение видового и генотипического разнообразия, под влиянием хозяйственной деятельности человека, может снизить возможность будущих адаптации, как в природных экосистемах, так и в агроэкосистемах [6].

Целью работы была оценка биоразнообразия зоопланктона озер

Среднего Поволжья и изучение закономерностей встречаемости различных видов зоопланктона.

Среднее Поволжье занимает центральную часть Волжско-Камского бассейна, в пределах двух зон – лесной и лесостепной. Северная граница региона проходит по параллели  $57^{\circ}20'$ , южная – по параллели  $51^{\circ}47'$ , западная граница проходит по меридиану  $45^{\circ}55'$ , а восточная – по меридиану  $54^{\circ}18'$  [7] (рис. 1).



**Рис. 1.** Карта-схема провинций Среднего Поволжья. Номера провинций: I – Низменное Заволжье, лесная зона; II – Вятско-Камская возвышенность, лесная зона; III – Приволжская возвышенность, лесостепная зона; IV – Низменное Заволжье, лесостепная зона; V – Высокое Заволжье, лесостепная зона [7], с – солонова-товодные озера. М 1: 4000000.

Исследования зоопланктона озер проводились в ходе комплексных экспедиций Лаборатории водных экосистем экологического факультета КГУ на территории Среднего Поволжья, в пределах республик Татарстан, Марий Эл, Чувашия и Ульяновской области РСФСР. Отбор проб проводился ежедекадно или ежемесячно в течение вегетационного периода, а также в ходе кадастровых исследований с 1989 г. по 2001 г. Пробы отбирали сетью Джели (размер ячеи – 92–100 мкм) или процеживанием 50–100 л. воды через сеть Апштейна (на мелководных участках озер). Обработка проб проводилась по стандартным гидробиологическим методикам [3], с использованием определителей [1, 2, 8, 9]. Параллельно с отбором проб зоопланктона проводилось измерение прозрачности воды (по белому диску Секки), и отбор проб воды для физико-химического анализа. Среди биологических характеристик для трофической типизации озер приоритетными служат функциональные показатели развития фитопланктона, в частности величина первичной продукции. Благодаря тому, что существуют корреляционные связи между прозрачностью (по диску Секки), концентрацией хлорофилла, биомассой фитопланктона, содержанием биогенных веществ [4, 11] трофический статус водоема можно ориентировочно оценить по величине прозрачности воды. Все обследованные озера были разделены на группы в соответствии с их трофическим статусом. Гидрохимические анализы выполнены в Лаборатории водных экосистем экологического факультета КГУ, автор выражает глубокую благодарность сотрудникам этой лаборатории за предоставленные материалы.

Всего было обследовано около 100 озер. По происхождению котловин водоемы подразделялись на карстовые, суффозионные, старичные, междюнные и искусственные. Максимальная глубина составляла от 1 м до 39 м, площадь акватории – от 0.1 до 128 га, объем водной массы – от 1 до 54348 тыс.м<sup>3</sup>. Величина минерализации воды изменялась от 20 мг/л до 27 г/л, в воде преобладали анионы  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , катионы –  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  [5]. Озера с близкими происхождением котловин, величиной минерализации и ионным составом воды, величинами морфометрических показателей (площадь, глубина, объем воды), уровнем трофности были объединены в группы и анализировались совместно.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В составе зоопланктона исследованных озер найдено 186 видов, из них коловраток – 77 (41%), ветвистоусых ракообразных – 71% (38%), веслоногих ракообразных – 38 видов (21% от общего списка).

Коловратки принадлежали к 18 семействам, наиболее богатым из них было сем. Brachionidae (17 видов) и Synchaetidae (11 видов). Наиболее часто встречались виды *Keratella cochlearis* (Gosse) (в 89 озерах), *K. quadrata* (Muller) (в 80), *Asplanchna priodonta* Gosse (в 82), *Filinia longiseta* (Ehrenberg) (в 79), *Brachionus angularis* Gosse (в 52), *Polyarthra vulgaris* Carlin (в 59). К редким для Среднего Поволжья относились *Brachionus budapestinensis* (Daday), *B. forficula* Wierzejski. Эти виды теплолюбивы и широко распространены в южных областях России [1]. Достаточно редко в озерах встречались *Hexarthra mira* (Hudson), *Cephalodella gibba* (Ehrenberg), *C. tantilla* Myers, *Colurella colurus* (Ehrenberg), *C. obtusa* (Gosse), *Lepadella ovalis* (Muller), *L. patella* (Muller), *Epiphaneis pelagica* (Jennings), *Lophocharis oxysternon* (Gosse), *Scardinium longicaudatum* (Muller). Это обитатели зарослей растений и придонных слоев воды, которых обнаружили главным образом в пробах, отобранных в прибрежной зоне.

Ветвистоусые ракообразные относились к 10 семействам отрядов Daphniiformes, Leptodoriiformes, Polyphemiformes. Наиболее разнообразными по числу видов были семейства Chydoridae (31 вид) и Daphniidae (16 видов). Из ветвистоусых ракообразных наиболее широко распространены *Bosmina longirostris* (O.F. Muller) (в 81 озере), *Chydorus sphaericus* (O.F. Muller) (в 75), *Daphnia cucullata* Sars (в 67), *D. longispina* O.F. Muller (в 51), *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin) (в 61), *Ceriodaphnia quadrangula* (O.F. Muller) (в 52). В первую очередь обследовали пелагическую зону озер, в связи с этим зарослевые формы ракообразных встречались единично. Возможно, что при специальных исследованиях частота встреч этих видов значительно возрастет. К ним относились: *Alona guttata* Sars, *A. protzi* Hartwig, *Alonella exigua* (Lilljeborg), *A. nana* (Baird), *Camptocercus lilljeborgi* Schoelder, *Ilyocryptus sordidus* (Lievin), *Kurzia latissima* Kurz, *Leydigia acanthocercoides* (Fischer), *Macrothrix hirsuticornnis* Norman et Brady, *Ophryoxus gracilis* Sars. Из стенобионтных видов достаточно редко встречаемых в Среднем Поволжье отмечена *Holopedium gibberum* Zaddach. Этот вид обитал в заболоченных озерах Марийского Полесья, вода которых имела низкие значения pH и минерализации.

Веслоногие ракообразные относились к 4 семействам подотрядов Calanoida, Cyclopoida и Harpacticoida. Наибольшее число видов было из сем. Cyclopidae (30 видов). Наиболее часто встречались копепоиды *Mesocyclops leuckarti* (Claus) (в 58 озерах), *Thermocyclops crassus* (Fischer) (в 47), *T. oithonoides* (Sars) (в 27), *Eudiaptomus gracilis* (Sars) (в 46). Редки в озерах Среднего Поволжья представители сем. Temoridae: *Eurytemora affinis* (Poppe), *E. velox* (Lilljeborg), *Hetero-*



*cope appendiculata* Sars, *H. saliens* (Lilljeborg). В единичных случаях встречены такие зарослевые формы как *Eucyclops lilljeborgi* (G.W. Muller), *E. macruioides* (Lilljeborg), *Paracyclops fimbriatus* (Fischer). В солоноватоводных озерах, имеющих высокий коэффициент водообмена и низкую температуру воды найдены *Canthocamptus staphylinus* (Jurine), *Hetercope saliens*.

В соответствии с классификацией Карлсона [11], к олиготрофным были отнесены 9 озер, к мезотрофным – 19, к эвтрофным – 35, к гипертрофным – 10. В олиготрофных озерах наиболее распространены виды *Filinia longiseta* (встретилась в 100% озер), *Keratella quadrata* (89%), *Bosmina longirostris* (78%), *Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina* (Kellicott), *Daphnia cucullata*, *D. longispina* и *Diaphanosoma brachyurum* (в 67%). Практически во всех мезотрофных озерах встречались *Bosmina longirostris* (в 95% озер), *Asplanchna priodonta* и *Keratella cochlearis* (89%), довольно часто – *Daphnia cucullata* и *Keratella quadrata* (74%), а также *Filinia longiseta* и *Chydorus sphaericus* (63%), *Diaphanosoma brachyurum* (61%). В эвтрофных озерах наиболее распространены коловратки *Keratella cochlearis* (в 86% озер), *Keratella quadrata* (81%), *Asplanchna priodonta* (78%), *Filinia longiseta* (75%), ветвистоусые ракообразные *Bosmina longirostris* (75%), *Daphnia cucullata* (72%), *Brachionus angularis* (64%), *Chydorus sphaericus* (64%), *Mesocyclops leuckarti* (61%). В гипертрофных озерах отмечались *Filinia longiseta* (100%), *Brachionus diversicornis* (Daday) и *Keratella cochlearis* (80%), *Asplanchna priodonta*, *Brachionus angularis*, *B. calyciflorus* Pallas. *Keratella quadrata*, *Bosmina longirostri*, *Chydorus sphaericus* – в 70% озер.

В зависимости от происхождения котловин, минерализации и ионного состава воды, величин морфометрических показателей и трофического статуса исследованные озера были объединены в следующие группы: солоноватоводные озера (9 озер) (рис. 1); озера заболачиваемые, закисленные, с низкой минерализацией воды (расположены в провинции Низменного Заволжья, лесная зона) (9 озер); 3) олиго-мезотрофные карстовые озера (расположены в провинции Вятско-Камской возвышенности, лесная зона) (16 озер); 4) мезо-эвтрофные карстовые озера (расположены в провинциях Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья, лесостепная зона) (12 озер); 5) мелко-водные и среднеглубокие озера, расположенные в долинах рек (в провинциях Приволжской возвышенности, Низменного и Высокого Заволжья, лесостепная зона) (28 озер); 6) междонные озера (расположены в провинциях Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья, лесостепная зона) (6 озер); 7) искусственные (4 озера).

Солоноватоводные озера, встречаются в различных районах

Среднего Поволжья, отличаются повышенной минерализацией воды (2 г/л и выше). Тип воды в озерах – сульфатно-кальциевый или сульфатно-натриевый. Котловины озер карстового или старично-карстового происхождения, с максимальными глубинами до 18 м, площадь поверхности – от 0,2 до 7 га. Характер водообмена различен – от проточного, с очень большим стоком воды, до бессточного [5]. В составе планктонных коловраток и ракообразных солоноватоводных озер был отмечен 81 вид, относящийся к 5 отрядам и 20 семействам классов коловратки и ракообразные, из них коловраток – 31 вид, ветвистоусых ракообразных – 31, веслоногих ракообразных – 19 видов. Зоопланктон представлен комплексом видов, характерным для пресноводных и солоноватоводных озер умеренных широт, его основу составляют: *Brachinus calyciflorus*, *Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Notholca acuminata* (Ehrenberg), *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Daphnia cucullata*, *Eudiaptomus gracilis*, *Mesocyclops leuckarti*. Число доминирующих видов в озерах невелико – обычно 1–2 вида. Почти все встреченные виды относятся к эвригалинным, обитают как в пресных, так и в солоноватых водах. Отсутствие галофильных видов объясняется, по-видимому, недостаточно высокими значениями минерализации воды исследованных озер. Из редко встречающихся видов отмечены коловратки *Hexarthre mira*, ветвистоусые *Daphnia galeata* G.O. Sars, веслоногие *H. saliens*, *Mesocyclops bodanicola* Kiefer, *C. staphylinus*. Количественные показатели зоопланктона в большинстве глубоководных озер невелико, биомасса составляла 0,006–3,5 г/м<sup>3</sup>. Прослеживается отрицательная корреляция численности и биомассы зоопланктона со значениями электропроводности, минерализации, ионным составом воды и содержанием биогенных элементов. Дополнительными факторами, сдерживающими развитие зоопланктона, являются высокая скорость водообмена и низкая температура воды, обусловленные разгрузкой в озера больших объемов подземных вод, а при отсутствии проточности – высокое содержание в гипolimнионе сероводорода, биогенных элементов и органических веществ.

Весьма сильно отличаются по составу зоопланктона от других заболачивающиеся озера лесной зоны провинции Низменного Заволжья (Марийского Полесья). Марийское Полесье в геоморфологическом отношении представляет собой аккумулятивную равнину, сложенную с поверхности аллювиальными отложениями р. Волги. Междунные и межбугристые понижения при высоком уровне стояния грунтовых вод заполнились водой, таким путем образовалась преобладающая часть озер этой территории [4]. Виды этой группы озер относятся к сульфатному типу, группе натрия и калия. Водоемы карстового

или междюнного происхождения, заболачиваемые или представляющие из себя окно в болоте, бессточные, обычно с низкими значениями pH, площадью от 0.8 до 9 га, максимальными глубинами до 19 м. Минерализация воды низкая или средняя (от 20 до 400 мг/л). В озерах, отнесенных к этому типу, нами было обнаружено 64 вида зоопланктона, из них коловраток – 23 вида, ветвистоусых – 27 и веслоногих – 14 видов. Для озер характерен специфичный состав зоопланктона, обитают виды, не встречающиеся или очень редко встречающиеся в других озерах: коловратки *Epiphaneis pelagica*, *Ascomorpha agilis* Zacharias, *Postclausa hyptopus* (Ehrenberg) и ракообразные *Daphnia hyalina* (Leydig), *Holopedium gibberum*, *Cyclops scutifer* Sars, *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg). Они обычно немногочисленны, наиболее часто доминировали *Kellicottia longispina*, *C. quadrangula*, *D. brachyurum*, *Polyphemus pediculus* (L.). Численность зоопланктона в озерах изменялась от 12 до 2489 тыс.экз/м<sup>3</sup>, биомасса – от 0.29 до 28 г/м<sup>3</sup> (по результатам кадастровых исследований). Наибольшая численность и биомасса зоопланктона отмечалась в слое эпилимниона. По численности в различных водоемах преобладали разные группы зоопланктона, по биомассе обычно Cladocera, либо Copepoda.

Карстовые озера лесной зоны провинции Вятско-Камской возвышенности, имели максимальные глубины до 40 м, малые и средние размеры (от 2 до 50 га), гидрокарбонатно-кальциевый воды, малую и среднюю минерализацию. По трофическому статусу эти водоемы относились к олиготрофным или мезотрофным. Большинство из них расположено на охраняемых природных территориях, поэтому антропогенная нагрузка на них ограничена. Летом в озерах устанавливалась устойчивая термическая стратификация воды. В озерах встречено 104 вида зоопланктона. Наиболее богато представлены коловратки (42 вида) и ветвистоусые ракообразные (39 видов). Чаще всего доминирующий комплекс образовывали коловратки *Kellicottia longispina*, *Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*, *Filinia longiseta*, *Asplanchna priodonta*, ветвистоусые ракообразные *Daphnia cucullata*, *C. quadrangula*, *Bosmina longirostris*, веслоногие ракообразные *Eudiaptomus gracilis* или *Eudiaptomus graciloides*. Количественные показатели зоопланктона невысоки. Средняя за вегетационный период численность зоопланктона составила в разных водоемах 66–237 тыс.экз/м<sup>3</sup>, биомасса – 0.66–1.6 г/м<sup>3</sup>. Пик численности приходился на конец мая и достигал 450–1000 тыс.экз/м<sup>3</sup>. Зоопланктон распределен неоднородно по глубинам, наибольшую его плотность наблюдали в металимнионе или в эпилимнионе.

Озера лесостепной зоны Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья имеют карстовое или старично-карстовое происхо-

ждение, максимальные глубины до 20 м, площадь поверхности от 1 га до 112 га, гидрокарбонатно-кальциевые. Эти озера находятся на урбанизированных территориях, либо вблизи интенсивно используемых сельхозугодий, поэтому испытывают более сильную антропогенную нагрузку, чем озера предшествующей группы. Большинство из них эвтрофные. В озерах этого типа обнаружено наибольшее число видов – 125, из них коловраток – 51 (41%), ветвистоусых – 53 (42%), веслоногих – 21 (17%). Доминировали коловратки *B. angularis*, *B. calyciilorus*, *Brachionus diversicornis*, *Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*, *Kellicottia longispina*, *Filinia longiseta* и рачки *Chydorus sphaericus*, *Daphnia cucullata*, *Eudiaptomus gracilis*, *T. oithonoides*. Средняя за вегетационный период численность зоопланктона составляла 361–446 тыс.экз/м<sup>3</sup>, биомасса – 3.4–4 г/м<sup>3</sup>. Пик численности приходился на конец мая (2.1 млн.экз/м<sup>3</sup>), наибольшие значения биомассы достигали 13 г/м<sup>3</sup>. Зоопланктон сконцентрирован в слое эпилимниона (0–2 м), что обусловлено недостатком кислорода и присутствием сероводорода в гипolimнионе.

К следующей группе отнесены мелководные и среднеглубокие озера (до 10 м глубиной) с площадью поверхности от 0.3 до 100 га, расположенные в долинах рек. Тип преимущественно гидрокарбонатный-кальциевой группы, минерализация 100–625 мг/л. Озера, в основном эвтрофные или гипертрофные, подвержены значительному антропогенному воздействию. В составе зоопланктона встречено 104 вида, из них 48 видов коловраток (46%), 39 ветвистоусых рачков (38%), 17 веслоногих (16%). В состав доминирующего комплекса видов чаще всего входили: Коловратки *Asplanchna girodi* Guerne, *A. priodonta*, *B. angularis*, *B. diversicornis*, *K. cochlearis*, *K. quadrata*, *Polyarthra major* Burckhard, *P. vulgaris*, *Trichocerca cylindrica* (Imhof) и ракообразные *B. longirostris*, *D. brachyurum*, *D. cucullata*. Летняя численность зоопланктона изменялась весьма значительно – от 20 до 2000 тыс.экз/м<sup>3</sup>, биомасса – от 0.25 до 10 г/м<sup>3</sup>. Вследствие преобладания в сообществах коловраток, в озерах наблюдаются периодические колебания численности зоопланктона, которые в отдельные годы превышают указанные в десятки и сотни раз.

Междюнные озера в Среднем Поволжье немногочисленны. Они неглубокие (максимальная глубина до 3 м), с площадью от 1 до 42 га, эвтрофные, либо гипертрофные воды озер – гидрокарбонатно-кальциевые, с минерализацией – 120–300 мг/л. Толща воды в озерах в летнее время хорошо прогревается и периодически перемешивается. В большинстве водоемов хорошо развита погруженная и воздушно-водная растительность. Планктон разнообразен (порядка 100 видов),

по числу видов преобладают коловратки (49% от общего числа видов). Средняя за вегетационный период численность зоопланктона – около 850 тыс.экз/м<sup>3</sup>, биомасса – 3 г/м<sup>3</sup>. Доминируют коловратки *B. angularis*, *B. calycifloms*, *B. diversicornis*, *K. cochlearis*, *Euchlanis dilatata* (Ehrenberg), *F. longiseta* или ветвистоусые ракообразные *B. longirostris*, *C. sphaericus*. В связи с преобладанием в озерах этого типа организмов с коротким жизненным циклом довольно типичны кратковременные подъемы численности зоопланктона, вызванные массовым развитием одного из вышеперечисленных видов. Пиковые значения достигают 2 млн.экз/м<sup>3</sup> и приходятся на середину июня или августа.

Ближние сообщества формируются в озерах искусственного происхождения. Это небольшие, мелководные озера по размеру с глубинами до 4 м, с гидрокарбонатно-кальцевыми водами, средний и высокой минерализации, мезотрофно-эвтрофные и эвтрофные. Число видов в составе зоопланктона невелико: 61 вид, 40% из них составляли коловратки и ветвистоусые ракообразные, 20% – веслоногие рачки. Низкое число видов может быть обусловлено небольшим возрастом озер, однообразием биотопов внутри водоема, антропогенным воздействием. В зоопланктоне доминировали *P. major*, *K. cochlearis*, *K. quadrata*, *B. longirostris*. Средняя за вегетационный период численность состав ляла 470–650 тыс.экз/м<sup>3</sup>, биомасса – 3–4г/м<sup>3</sup>. Отмечено несколько пиков развития (до 2 млн.экз/м<sup>3</sup> по численности, 7–22 г/м<sup>3</sup> по биомассе) на протяжении вегетационного периода.

Таким образом, в разнотипных озерах Среднего Поволжья встречено 186 видов. Виды-эврибионты *Keratella quadrata*, *Bosmina longirostris*, *Filinia longiseta* и *Chydorus sphaericus* распространены во всех типах озер, от олиготрофных до гипертрофных. Коловратки *K. longispina* наиболее часто встречаются в олиготрофных, в других типах озер — значительно реже. *Keratella cochlearis*, *Asplanchna priodonta*, *Daphnia cucullata* найдены в озерах, уровень трофности которых соответствует мезотрофному или превышает его. В эвтрофных водоемах наиболее часто встречается *Mesocyclops leuckarti*, в эвтрофных и гипертрофных – *Brachionus angularis*, в гиперэвтрофных – *Brachionus diversicornis* и *Brachinus calyciflorus*. Наиболее разнообразны по составу зоопланктона мезо-эвтрофные глубоководные озера карстового или старично-карстового происхождения, наименее разнообразны – искусственные озера. В эвтрофных и гиперэвтрофных озерах отмечены максимальные значения численности и биомассы зоопланктона. Для зоопланктона этих озер, вследствие преобладания в структуре сообществ мелких видов и имеющих короткий жизненный цикл, характерны периодические вспышки численности. В озерах с экстремаль-

ными экологическими условиями (повышенная минерализация воды, низкая температура, повышенная скорость водообмена, низкие значения pH) отмечены низкое видовое богатство, численность и биомасса зоопланктона по сравнению с другими озерами.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 99–05–64562; 01–05–06098).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кутикова Л.А.* Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Ploimida, Monimetrochida, Paedotrochida). // Л.: Наука, 1970. 744 с.
2. *Мануйлова Е.Ф.* Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР // М.-Л.: Наука, 1964. 326с.
3. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция // Л., ГосНИОРХ, Зоологический институт АН СССР, 1982. 3 с.
4. *Милюс А.Ю., Линдпере А.В., Старост Х.А., Симм Х.А., Кываск В.О.* Статистическая модель трофического состояния малых светловодных озер/УВодные ресурсы // 1987. 3. С. 63–66.
5. *Мингазова Н.М.* Антропогенные изменения и восстановление экосистем малых озер. // Автореф... д.б.н. С.–Петербург. 1999. 50 с.
6. *Одум К.* Экология: В 2-х т. Т. 2. Пер. с англ. // М.: Мир, 1986. 375 с.
7. Озера Среднего Поволжья // Л.: Наука, 1976. 236 с.
8. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Низшие беспозвоночные // Под. ред. С.Я. Цалолихина. СПб., 1994. Т. 1. 396 с.
9. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Ракообразные // Под. ред. С.Я. Цалолихина. СПб., 1995. Т. 2. 628 с.
10. Уникальные экосистемы солонатоводных карстовых озер Среднего Поволжья // Под ред. А.Ф. Алимова и Н.М. Мингазовой. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2001. 256 с.
11. *Carlson R.A* Trophic state index for lakes // Limnology and oceanography. 1977, 22(2). P. 361–369.

## BIODIVERSITY OF ZOOPLANKTON OF MIDDLE VOLGA REGION LAKES

**O.Yu. Derevenskaya**

Kazan State University

The communities of the zooplankton of different Middle Volga Region lakes were investigated. Were revealed 186 species, from them Rotatoria was 77 species (41%), Cladocera was 71 species (38%), Copepoda was 38 species (21%). The species – eurybiotic *Keratella quadrata*, *Bosmina longirostris*, *Filinia longiseta* and *Chydorus sphaericus* are wide-spread in all types of lakes, from oligo-trophic up to hypertrophic. *Kellicottia longispina* was met in oligotrophic lakes a most frequently, *Keratella cochlearis*, *Asplanchna priodonta*, *Daphnia cucullata* are exist in mesotrophic and eutrophic lakes. *Mesocyclops leuckarti* is frequent in eutrophic lakes, *Brachionus angularis* is in eutrophic and hypertrophic, *Brachionus diversicornis* and *Brachionus calyciflorus* – in hypertrophic. The zooplankton is most various in meso-eutrophic abyssal carstic lakes. In artificial lakes zooplankton is least various. The highest values of quantitative parameters of the zooplankton were marked in eutrophic and hypertrophic lakes. A biodiversity of the zooplankton communities were reduce in lakes with extreme ecological conditions in comparison with other lakes.

## ЖИЗНЕННЫЕ ЦИКЛЫ ДВУХ ВИДОВ HEMIDIAPTOMUS SARS, 1903 (COPEPODA, CALANOIDA) ИЗ ВРЕМЕННЫХ ВОДОЕМОВ САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Н.А. Евдокимов

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского  
Россия, 410026, Саратов, ул. Астраханская, 83,  
e-mail: ermokhinmv@info.sgu.ru

Изучены жизненные циклы двух широко распространенных видов веслоногих каланоидных рачков *Hemidiaptomus hungaricus* Kiefer, 1933 и *Hemidiaptomus rylovi* Charin, 1928. Установлены сроки выхода из яиц, окраска, абсолютные и относительные размеры тела рачков на различных стадиях развития (науплиус, IV–V копеподиты), продолжительность репродуктивного периода, число яиц в кладке и количество кладок за сезон размножения, продолжительность развития в условиях временных водоемов, отличающихся сроками существования. Продолжительность существования временного водоема оказывает значительное воздействие на параметры жизненного цикла *H. hungaricus*, у *H. rylovi* такая зависимость не обнаружена.

Ключевые слова: *Hemidiaptomus*, жизненный цикл, временные водоемы.

### ВВЕДЕНИЕ

Сообщества временных водоемов могут быть использованы в качестве удобных модельных объектов для исследования фундаментальных закономерностей организации надорганизменных систем популяционного и биоценотического уровня. Небольшие размеры этих систем делают их естественными мезокосмами с относительной однородностью среды, обозримыми сроками существования, что позволяет учитывать большинство факторов, оказывающих существенное воздействие на процессы сезонного развития сообщества. Структурно-функциональная организация сообщества, как известно, определяется динамикой популяций доминирующих (структурообразующих) видов, поэтому установление закономерностей сезонного развития экосистемы невозможно без детального описания основных этапов их жизненных циклов.

Веслоногие ракообразные подотряда Calanoidae являются доминантами планктонных группировок в весенних временных водоемах, но их фауна в Нижнем Поволжье остается малоизученной. Большинство работ поэтому региону имело инвентаризационный, фаунистический характер [1, 8]. Детальное описание жизненных циклов каланоидных рачков временных водоемов ранее не проводилось.



Краткий срок существования временного водоема обуславливает моноцикличность и простоту структурной организации популяций большинства специфических для данных сообществ видов. В весенних временных водоемах, не связанных с речными системами, обычными видами являются каланоидные рачки *Hemidiaptomus hungaricus* Kiefer, 1933 и *Hemidiaptomus rylovi* Charin, 1928. Морфология взрослых особей и некоторые особенности экологии этих видов описаны в работах многих авторов [2, 3, 6, 8, 12]. Морфология ранних стадий развития, биология и особенности жизненных циклов *Hemidiaptomus* не известны. Цель настоящей работы – описание основных фаз жизненного цикла двух видов рода *Hemidiaptomus*, относящихся к различным под родам, и доминирующих на различных стадиях сезонного развития таксоценозов веслоногих ракообразных временных водоемов.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор материала проводили на группе модельных временных водоемов в окр. местностях пос. Горный Краснопартизанского района Саратовской области в 1997–1998 и 2001 гг. При выборе модельных водоемов и методик описания основных фаз жизненных циклов ракообразных руководствовались методическими рекомендациями и принципами, детально изложенными в работах Н.В. Вехова [4, 5]. Пробы отбирали по общепринятым гидробиологическим методикам. Отбор качественных проб проводили ежедневно, количественных – через 10 сут. в период, охватывающий весь срок существования популяций исследуемых видов *Hemidiaptomus* (с 10 марта по 15 мая). Обработку и анализ качественных проб проводили на живом материале через 1–2 ч. после изъятия пробы из водоема по методике Е.В. Боруцкого [3]. Высокая подвижность копеподитов последних стадий и взрослых рачков *H. rylovi* позволяла ему избегать орудий количественного лова, поэтому для сбора материала по этому виду использовали гидробиологический сачек. Определение и измерения различных стадий развития рачков проводили с помощью окуляр-микрометра и микроскопа МБР–1. За период исследований взято и обработано более 300 качественных и около 50 количественных проб, изучено более 6000 особей двух видов на различных стадиях развития.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*H. hungaricus* доминировал в течение апреля – начала мая во временных водоемах естественного происхождения с хорошо развитой растительностью и сроками существования от 1.5 до 5 месяцев. Разви-

тие рачков начиналось с вылупления науплиусов из покоящихся яиц, отложенных в грунт в предыдущие годы. В экспериментальных условиях науплиусы *H. hungaricus* появлялись через 3 ч после помещения сухого грунта с латентными яйцами в талую воду. В естественных условиях науплиусы I-й стадии покидали яйцевые оболочки в процессе формирования подснежной лужи в начале марта – апреле. Степень синхронности развития большей части рачков зависела от сроков и продолжительности процесса заполнения ложа будущего водоема талыми водами. В мелких водоемах, заполняющихся единомоментно, наблюдалась одна волна вылупления науплиусов, в крупных, длительно заполняющихся водоемах этот процесс происходил по мере заполнения, а науплиусы I-й стадии встречались в течение марта. Численность их в этот период составляла от 50 до 100 тыс. экз./м<sup>3</sup>. На науплиальной стадии развития большая часть особей находилась на свободных от растительности участках, где они были равномерно распределены по всей толще воды.

После выхода из яйцевых оболочек науплиус *H. hungaricus* окрашен в ярко красный цвет. К концу I-й науплиальной стадии содержимое кишечника приобретало коричневый цвет, что свидетельствовало о приближении первой линьки. В полостной жидкости головного конца тела дорсальнее передней части желудка и на границе средней и задней кишки формировались жировые капли оранжевого цвета, размеры которых указывали на степень упитанности рачка. У более 500 исследованных нами науплиусов I-й стадии акт дефекации не наблюдался, что позволяет предположить отсутствие активного питания рачка на этой стадии и согласуется с данными Л.И. Сажинной [9, 10] для науплиусов морских каланоид. На этой стадии развития науплиус питался эмбриональным запасом питательных веществ в условиях начального этапа формирования планктонного сообщества и его бедности при низкой температуре воды.

**Таблица 1.** Абсолютные и относительные размеры тела *Hemidiaptomus hungaricus* и *Hemidiaptomus rylovi* на разных стадиях онтогенеза

Стадии	<i>H. hungaricus</i>			<i>H. rylovi</i>		
	n	Средняя длина тела, мм	Относительная длина (в% к длине взрослой сам- ки)	n	Средняя длина тела, мм	Относитель- ная длина (в% к длине взрослой самки)
Науплиусы						
1	385	0.25	8.0	83	0.35	7.2
2	452	0.30	9.3	50	0.41	8.5
3	222	0.36	11.5	8	0.45	9.3
4	17	0.45	14.1	4	0.51	10.7
5	66	0.55	17.5	2	0.69	14.3
6	69	0.72	22.6	6	0.89	18.5
Копеподиты						
1	78	1.06	33.6	4	1.44	29.9
2	49	1.34	42.5	10	1.74	36.3
3	87	1.76	55.7	18	2.35	49.0
4	149	2.17	68.5	24	2.98	61.9
5(?)	66	2.56	81.0	6	3.54	73.7
5(?)	45	2.69	85.2	9	3.73	77.7
6(?)	176	2.92	92.2	13	4.48	93.2
6(?)	143	3.16	100	10	4.81	100

Развитие науплиуса от момента выхода из яйца до VI-й науплиальной стадии длилось от 25сут. (при температуре воды 7°C) до 1.5 мес. (при 0.5°C). Данные по абсолютным и относительным размерам науплиальных и копеподитных стадий представлены в табл. 1.

Копеподиты *H. hungaricus* встречались с первой декады апреля (при 1°C) до первой декады мая (при 15°C). На копеподитных стадиях рачки были окрашены в однотонно красный цвет. Половая дифференциация наблюдалась на IV-й копеподитной стадии, эти различия усиливались на последующих V–VI-й стадиях, что характерно также для других представителей подотряда Calanoida [3, 11]. Уже на этой стадии самки крупнее самцов, ширина 9–16-го члеников правой антеннулы у самцов почти в 2 раза больше, левой, у самок обе антеннулы одинаковы. У самцов экзоподит левой пары V-х торакальных ног 2-х члениковый, у самок строение ног одинаковое (экзоподиты одночлениковые). У самца длина сегментов абдомена одинакова, у самки проксимальный сегмент в 2 раза длиннее медиального.

Половозрелые особи *H. hungaricus* в зависимости от погодных

условий конкретного года появлялись с 19 апреля по 23 мая. В зависимости от температуры воды продолжительность жизни взрослых рачков составляла от 25 сут. (при 20°C) до 30–35 дней (при 15°C). Размеры взрослых рачков (табл. 2) изменялись у самцов от 2.0 до 3.5 мм, у самок – от 2.2 до 4.3 мм.

**Таблица 2.** Характеристика жизненного цикла *Hemidiaptomus hungaricus*

Показатели	Продолжительность существования временных водоемов, мес					Постоянные водоемы
	<1.5	2	3	4	5	
Продолжительность активной фазы существования популяции, сут	30-40	40-50	50–60	50–60	60–70	70-80
Количество кладок	1-2	2-3	3–4	3–4	4-5	–
Среднее количество яиц в первой кладке	10	35	38	28	30	50
Средняя длина тела, мм						
самки	2.3	2.9	2.8	3.0	3.1	3.9
самцы	2.1	2.6	3.1	2.6	2.8	3.3
Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup>						
науплиусы	–	–	60–80	80–	30-50	–
копеподиты	–	–	20–40	100	10-30	–
половозрелые особи	–	–	3–4	50–70 5–6	3-4	–
Соотношение полов, %						
самки	–	25	26	24	34	–
самцы	–	75	74	76	66	–

Во временных водоемах с различным гидрологическим режимом средние размеры особей и их численность не всегда коррелировали. Однако при увеличении гидропериода (сроков существования временного водоема) средние размеры особей и, как следствие, репродукционные показатели рачков закономерно изменялись: значительно возрастало количество кладок и размеры кладок, достигая максимума постоянных водоемах (табл. 2). К началу репродуктивного периода численность *H. hunaricus* составляла 2–5 тыс. экз./м<sup>3</sup>. В течение жизни взрослой особи окраска ее покровов изменялась в следующей последовательности: красная – бордовая – коричневая – черная – сине-

вательности: красная – бордовая – коричневая – черная – сине-красная – темно-синяя – голубая.

У самцов через 1–2 сут. после линьки дорсальное средней кишки хорошо заметен семенник серого цвета. Через 4 сут. самцы способны формировать сперматофоры и спариваться. Длина сперматофоров изменяется в пределах 0.8–0.95 мм, а их количество обычно составляет 1–3 (максимум 9) на одну самку.

У самок через 1–2 сут. после последней линьки наблюдалось развитие яичника, а через 6 сут. они несут яйцевые мешки. От заполнения яичника ооцитами до откладки яиц в яйцевой мешок обычно проходило 4–5 дней при температуре воды 15°C. В некоторых водоемах наблюдали самок со стерильными яичниками (яичник на I-й стадии развития по [10]).

Самки *H. hungaricus* выметывали яйца в мешок дисковидной формы. Яйцо имело коричневую окраску и диаметр около 160 мкм (оно мельче, чем у *Hemidiaptomus amblyodon* [7]). Средний размер кладки составлял от 4 до 62 яиц (в среднем 30), что значительно превышало величину кладки у *H. amblyodon* (в среднем 24 яйца) [7]. Количество яиц в кладке с течением времени линейно уменьшалось. Средние размеры самок и средние размеры первой кладки положительно коррелировали. При повышенной плотности половозрелых самок яйцевые мешки часто поражались грибковой инфекцией. При этом вся поверхность лицевого мешка была оплетена гифами, несущими многочисленные конидии. Окраска яиц при этом изменялась: они становились розовыми, фиолетовыми или краснели. Содержимое яиц приобретало зернистую структуру.

Соотношение полов в популяциях *H. hungaricus* не зависело от плотности населения рачков, размеров водоема и составляло 70% самцов и 30% самок. Во временных водоемах в ходе периода размножения это соотношение не изменялось. На заключительных этапах своего существования популяция, в отличие от временных водоемов, в постоянных представлена в основном самками.

Многолетние наблюдения за особенностями экологии и биологии *H. rylovi* позволили автору сделать вывод о хищничестве рачка. Он встречался в марте – июне в водоемах со сроками существования от 2 мес и более, но нигде не достигал высокой численности. Развитие науплиусов *H. rylovi* идет синхронно с *H. hungaricus*. Численность первого вида в это время составляла 1–5 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Вылупившийся науплиус *H. rylovi* окрашен в оранжевый цвет, в ходе прохождения стадии цвет изменяется до розового. Науплиальное развитие проходило за 30–40 сут. (при 1°C), копеподитное – за 20 сут. (при 15°C). Копепо-

дитные стадии развития встречались с середины апреля до конца первой декады мая. На этой стадии развития рачки были окрашены следующим образом: вентральная часть цефалоторакса и все придатки красные, а дорсальная часть и abdomen серо-зеленые. На IV-й стадии рачки приобретали зеленую окраску и признаки полового диморфизма.

Первые половозрелые особи встречались с конца апреля. Сроки жизни рачков VI-й стадии составляли 40–45 сут. (при 15°C). Размеры рачков (табл. 3) не зависели от величины гидропериода и достигали у самцов 3.5–5.5 мм, самок 4.0–6.3 мм. Численность к началу размножения составляла 10–20 экз./м<sup>3</sup>, в ходе репродукционного периода она увеличивалась за счет уменьшения объема водоемов при его высыхании 100 экз./м<sup>3</sup>, свидетельствуя о незначительной элиминации рачков в этот период. Из-за малой численности и высокой подвижности рачков определить достоверное соотношение полов было затруднительно.

**Таблица 3.** Характеристика жизненного цикла *Hemidiaptomus rylovi*

Показатели	Продолжительность существования временных водоемов, мес				Постоянные водоемы
	2	3	4	5	
Продолжительность активной фазы существования популяции, сут	60	70	80	100	100–120
Количество кладок	1	1–2	2–3	3	–
Число яиц в первой кладке	60–110	60–80	40–60	80–100	80–100
Средняя длина тела, мм					
самки	5.3	5.1	5.2	5.5	5.6
самцы	4.7	4.5	4.4	4.9	4.7
Численность, экз./м <sup>3</sup> науплиусы	–	4000–5000	2000–2500	3000–5000	–
копеподиты	–	500–1000	200–500	500–1000	–
половозрелые особи	–	20–50	100	50–100	–

У самок через 2–3 сут. после линьки развивался яичник, через 7–8 сут. (при 15°C) появлялись яйцевые мешки. Период от заполнения яичника до откладки яиц у *H. rylovi* составлял 6–7 сут. (15°C). Средний размер кладки с увеличением их количества почти не изменялся и оставался на уровне 50–60 яиц (min–max – 21–136).

Случаи хищничества по отношению к *H. hungaricus* зарегистрированы у рачков, начиная с IV-й копепоидитной стадии. При поедании жертвы *H. rylovi* при помощи мощных максиллипод удерживал ее в поперечном положении относительно продольной оси тела дорсальной стороной к мандибулам и выдавливал жидкое содержимое вблизи ротового отверстия. Жевательными движениями максилл и мандибул содержимое жертвы поглощалось, а пустая шкурка отбрасывалась. В водоемах, на заключительных этапах существования, численность *H. rylovi* достигала 10–20 тыс. экз./м<sup>3</sup>, другие каланоиды в таких сообществах почти отсутствовали и у *H. rylovi* был возможен каннибализм.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Жизненные циклы двух видов *Hemidiaptomus* характеризовались синхронным протеканием начальных этапов развития только до IV-й копепоидитной стадии, что вероятно обусловлено пищевой специализацией видов, формирующейся на этой стадии. В водоемах с различным гидрологическим режимом средние размеры особей *H. hungaricus* изменялись в связи со сроками существования водоема, что приводило к изменению основных репродукционных показателей его популяций. Репродуктивные характеристики *H. rylovi* менее связаны со сроками существования водоема. Полученные нами данные об особенностях жизненных циклов и популяционной динамике этих видов позволяют проанализировать перераспределение энергетических потоков между функциональными группировками в соответствии с изменениями трофического статуса доминантов в планктонных сообществах временных водоемов, находящихся на различных стадиях сезонного развития.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бенинг А.Л. Материалы по гидрофауне придаточных систем реки Волги I. Материалы по гидрофауне реки Б. Иргиз // Работы Волж. биол. ст. 1913. Т. 4, № 4/5. С. 1–50.
2. Боруцкий Е.В. Определитель свободноживущих пресноводных веслоногих раков СССР и сопредельных стран по фрагментам в кишечниках рыб. М., 1960. 218с.
3. Боруцкий Е.В., Степанова Л.А., Кос М.С. Определитель Calanoida

- пресных вод СССР. СПб.: Наука, 1991. 502с.
4. Вехов Н.В. Методические рекомендации по изучению биологии Anostraca (Crustacea, Branchiopoda) в мелких водоемах // Гидро-биол. ж. 1989, №5. С. 74–78.
  5. Вехов Н.В. Проблемы классификации местообитаний жаброногих ракообразных фауны СССР, предлагаемых к занесению в Красную Книгу // Всесоюзное совещание по проблеме кадастра и учета животного мира. Уфа, 1989. С. 12–13.
  6. Журавель П.А. О нахождении *Hemidiaptomus rylovi* Charin (Crustacea, Copepoda) на Украине // Науч. зап. Днепрпетр. гос. ун-та. 1948. Т.30. с.55–58.
  7. Рылов В.М. К биологии *Diaptomus amblyodon* Mareng (Copepoda, Calanoida) // Тр. Петроград. Общ. Естествоиспыт., 1920. Т. 50, вып. 1, № 1–4. С. 29–36.
  8. Рылов В.М. Пресноводные Calanoida СССР. Л.: ВАСХНИЛ, 1930. 288 с.
  9. Сажина Л.И. Науплиусы массовых видов пелагических копепод Мирового океана: Определитель. Киев: Наукова думка, 1985. 238 с.
  10. Сажина Л.И. Размножение, рост, продукция морских веслоногих ракообразных. Киев: Наукова Думка, 1987. 154 с.
  11. Степанова Л.А. Родовая дифференциация личинок V копеподитной стадии сем. Diaptomidae (Copepoda, Calanoida) // Вестн. зоол., 1982. №1. С. 29–34.
  12. Kiefer F. Beitrage zur Copepodenkunde (XVI) // Zool. Ang. 1933. Bd 104, H. 11/12. S. 289–293.

## LIFE CIRCLES OF TWO SPECIES OF HEMIDIAPTOMUS SARS, 1903 FROM TEMPORARY POOLS OF SARATOV ZAVOLJE

N.A. Yevdokimov

N.G. Tchernischevsky Saratov State University Russia, 410026, Saratov, Astrakhan-  
skaya St., 83. e-mail: ermokhinmv@info.sgu.ru

The life cycles two widespread calanoid species *Hemidiaptomus hungaricus* Kiefer, 1933 and *Hemidiaptomus rylovi* Charin, 1928 are investigated. Terms of an exit from egg, colouring, absolute and relative sizes of a body at various stages of development (nauplius, IV–V copepodits), duration of the reproductive period, number eggs in set and set quantity for a season of duplication, duration of development in conditions of temporary pool distinguished by terms of existence are established. The duration of existence of a temporary reservoir renders significant influence on parameters of life cycle *H. hungaricus* (at *H. rylovi* such dependence is not found out).

Key words: *Hemidiaptomus*, life cycle, temporary pools.



## **ВЛИЯНИЕ ПАВОДКОВОГО РЕЖИМА НА РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНУЮ СТРУКТУРУ ПОПУЛЯЦИЙ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ СЕМ. UNIONIDAE**

**М.В. Ермохин**

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского  
Россия, 410026, Саратов, ул. Астраханская, 83,  
e-mail: ermokhinmv@info.sgu.ru

Проанализирована размерно-возрастная структура популяций пяти распространенных видов двустворчатых моллюсков сем. Unionidae в р. Медведица (Саратовская обл.). Показаны основные закономерности пространственного распределения различных когорт по местообитаниям. Установлена количественная связь максимального уровня подъема весенних паводковых вод с численностью когорты следующего года в популяциях рода *Unio*. Обнаружено отрицательное влияние слабых паводков на репродуктивный успех перловиц (*Crassiana*, *Unio*). Исследованные виды проранжированы по шкале реофильность – стагнофильность по отношению их популяционных характеристик к паводковому режиму. Впервые предложено использовать анализ размерно-возрастной структуры популяций двустворчатых моллюсков для биологического мониторинга паводкового режима рек и процессов трансформации таксономической структуры гильдии седиментаторов при его многолетних изменениях.

Ключевые слова: гильдия седиментаторов, двустворчатые моллюски, Unionidae, структура популяций, реки, паводковый режим, биомониторинг.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Во многих реках европейской части России двустворчатые моллюски семейства Unionidae составляют основу гильдии седиментаторов [1, 4, 6]. Седиментаторы выступают в качестве детерминанта консорций и эдификатора среды на дне водоемов [16], в которых преобладают детритные пищевые цепи, поэтому они вполне обоснованно считаются ядром многих бентосных биоценозов в реках. Двустворчатые моллюски способствуют ускорению процессов осаждения взвесей и улучшению трофических условий существования многих грунтоядных форм организмов [2]. Многие из моллюсков, являясь детритофагами, интенсифицируют процессы круговорота азота, фосфора и других биогенных элементов, ускоряют микробиологическую деструкцию органического вещества [15]. Изменения в структуре популяций унионид могут приводить к заметной трансформации бентосных сооб-

ществ.

Возрастные группы или когорты в популяциях унионид в силу генеративной дискретности (сезонной прерывистости размножения) и роста могут иметь отчетливые размерные отличия. Популяционные группировки включают значительное число возрастных групп, которое соответствует продолжительности жизни особей вида в условиях конкретного водоема.

Анализ размерно-возрастной структуры популяций унионид ранее использовался в целях организации, оценки перспективности и состояния промысла. В современных условиях антропогенного воздействия оценка состояния популяций седиментаторов может послужить для определения перспектив изменения состояния экосистем в целом, регистрации вызванных деятельностью человека или природными событиями в бассейне водоема катастрофических событий в жизни экосистемы.

Фауна моллюсков семейства Unionidae р. Медведицы включает 13 видов из четырех родов: *Crassiana crassa* (Philipsson, 1788), *C. nana* (Lamarck, 1819), *C. irenjensis* (Kobelt, 1912), *Unio ovalis* (Montagu, 1803), *U. tumidus* Philipsson, 1788, *U. longirostris* Rossmmaessler, 1836, *U. pictorum* (Linne, 1758), *Pseudanodonta complanata* (Rossmmaessler, 1835), *P. kletti* (Rossmmaessler, 1835), *Anodonta cygnea* (Linne, 1758), *A. anatina* (Linneus, 1758), *A. piscinalis* Nilsson, 1823, *A. subcircularis* Clessin, 1873 [7]. Известно влияние разнообразных постоянно действующих факторов среды на продолжительность жизни и видовой состав перловиц и беззубок [6]. Однако экологическим факторам гидрологического режима рек (в том числе паводковому режиму, поступлению веществ с водосбора и т.д.) уделялось незаслуженно малое внимание. Цель нашей работы – установить закономерности формирования размерно-возрастной структуры доминирующих видов перловиц (*Unio*, *Crassiana*) в условиях многолетних изменений паводкового режима реки.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучали популяции пяти видов двустворчатых моллюсков сем. Unionidae в среднем течении р. Медведица на территории Лысогорского р-на Саратовской обл.: *Crassiana crassa*, *C. nana*, *U. tumidus*, *U. longirostris*, *U. pictorum*. Исследования проводили в мае – августе 1996–1998 гг.

Плотность крупных двустворчатых моллюсков (Unionidae) определяли методом площадок по В.И. Жадину. Было заложено 120 учетных площадок площадью 1 м<sup>2</sup> на песчаных мелководьях. В других

местообитаниях (на песчанистых глинах у размываемых берегов, серых илах в заливах и затонах) применяли сбор моллюсков гидробиологическим скребком с фиксацией объема пробы.

Определение до вида проводили по [4, 5, 6, 11]. Длину раковины измеряли с точностью до 0.1 мм. Отмечали возраст моллюсков, определенный по линиям нарастания на наружной стороне створки и на отпечатке переднего аддуктора. В последнем случае к полученному числу линий прибавляли 2, так как первая линия нарастания на мускульном отпечатке образуется только на третьем году жизни [3]. Эта методика основана на определении количества линий нарастания, образующихся во время замедления роста в зимний период. В условиях малых рек с обширными полями выхода холодных грунтовых вод она может приводить к ошибочным результатам. Молодые двустворчатые моллюски (в возрасте 1–7 лет) ведут образ жизни, отличный от такового старших возрастных групп: они долгое время находятся в толще грунта, выставляя на поверхность только края сифонов. Температура грунта на поверхности и в толще не превышает 10–12°C, что снижает скорость роста летом. При этом сравнительно небольшая сезонная динамика температур на полях выхода грунтовых вод (6–8°C по сравнению с 20°C в русле реки) недостаточна для образованию четких линий нарастания. Таким образом, ошибка в определении возраста семилетних особей может составлять до 4 лет (более 50%). Поэтому в качестве основного для определения размерно-возрастной структуры популяций использовали метод «вероятностной бумаги» Хардинга [17], а традиционные методики определения возраста применяли только для интерпретации полученных таким образом полимодальных кривых. Метод «вероятностной бумаги» более чувствителен к выявлению отдельных возрастных групп в популяциях долгоживущих моллюсков со сложной размерно-возрастной структурой в тех случаях, когда регистрирующие структуры раковины нечетко выражены [3].

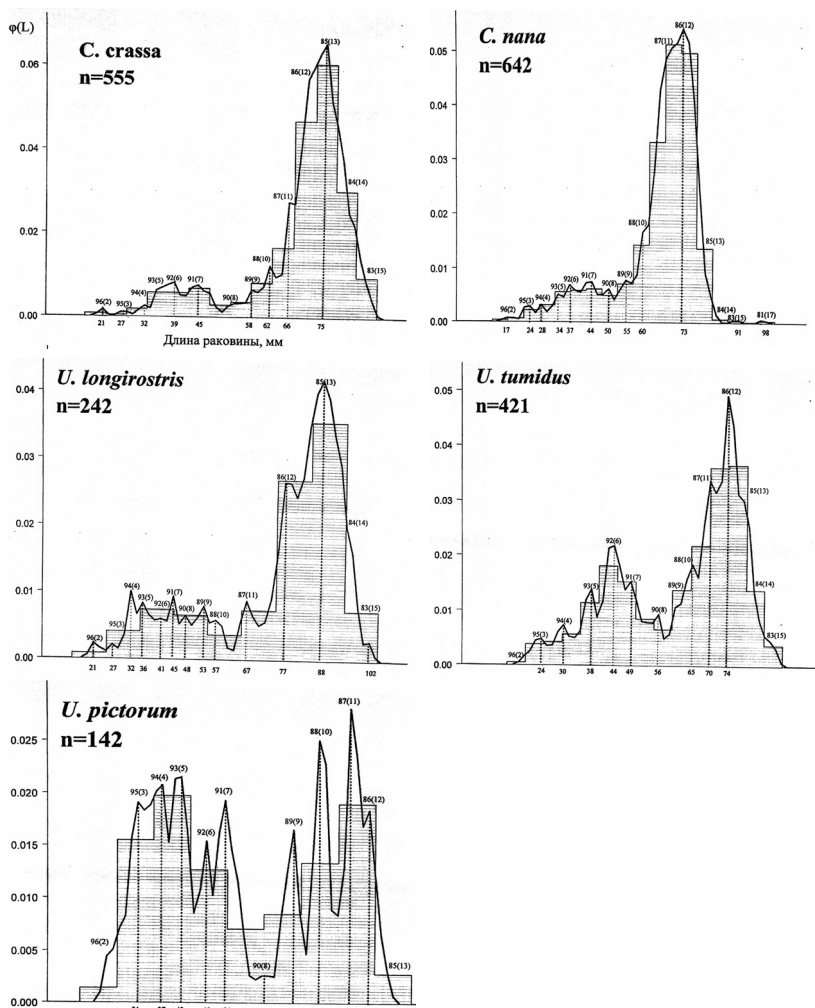
При обработке материалов применяли общепринятые статистические показатели [12, 14]. Математическую обработку и построение графиков выполняли с использованием компьютерных программ SigmaPlot 4.01, SPSS 8.0, S-Plus 4.5.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали наши исследования, перловицы (*Crassiana*, *Unio*) преобладают по численности и биомассе во всех русловых местообитаниях, и лишь на сильно заиленных грунтах затонов обильнее были беззубки (*Anodonta*, *Pseudanodonta*). Численность перловиц достигала максимума на глубине 0.5–1.2 м вне зависимости от типа грунта и на-

личия течения. В зоне уреза воды на глубинах менее 0.2 м моллюски встречались довольно редко, так как малые глубины ими избегаются. Однако в некоторых случаях они были обнаружены и в этой зоне: при резком падении уровня весенних паводковых вод и быстром перемещении уреза воды (на р. Медведице – в последней декаде апреля – в начале мая) и при постоянной проточности на участках дна близ уреза воды. На богатых органическим веществом илах с растительными остатками численность унионид достигала 45 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса – 2200 г/м<sup>2</sup> (в русловой части реки в среднем 5 экз./м<sup>2</sup> и 240 г/м<sup>2</sup> соответственно). На песчаных мелководьях численность моллюсков составляет 6 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса – около 330 г/м<sup>2</sup>. На глубинах, превышающих 1.5 м, в этом биотопе часто бывает сильное течение, поэтому в стрессовой части русла на подвижных грунтах медиали моллюски практически отсутствовали. Степень агрегированности пространственного распределения унионид возрастала при увеличении содержания органического вещества в донных осадках. Средние значения плотности моллюсков рассчитаны только для пробных площадок, на которых они обнаружены. Поэтому мы оперируем данными по плотности организмов в агрегациях, а не средней по водоему – этот показатель имеет меньший биологический смысл.

Особенности размерно-возрастной структуры популяций наиболее многочисленных видов унионид на прибрежных участках с песчаными грунтами вдоль побочней и русловых островов проявлялись в преобладании когорт, возраст которых превышал 10 лет (рис. 1). Исключением из этого правила можно считать *Unio pictorum*, который характеризовался более равномерным распределением численности большинства когорт. Общее число возрастных групп, в среднем, составило 15, достигало максимума (17) у *Crassiana nana*, а минимума (13) у *Unio pictorum*. Предельный возраст, продолжительность жизни и размеры раковин перловиц определяются во многом гидрохимическими особенностями водоема [6 и др.]. В условиях р. Медведица естественная смертность, вызванная биологической старостью, часто связана с механической сохранностью раковины: у очень старых особей (15 лет и более) наблюдается разрушение внешнего конхиолинового слоя раковины, сопровождающееся химическим растворением призматического слоя и даже прободением раковины в области отпечатков переднего аддуктора или макушки.



**Рис. 1.** Размерно-возрастная структура популяций двусторчатых моллюсков сем. Unionidae реки Медведица в 1998 г. По оси абсцисс – модальные значения длины раковины отдельных когорт, по оси ординат – значения функции плотности распределения вероятностей для разных когорт моллюсков. Над пиками обозначены год рождения разновозрастных особей и их возраст на момент исследования.

В выборке моллюсков с песчаных мелководий практически не представлены младшие когорты, что неадекватно отражает свойства всей популяции унионид реки. Моллюски, возраст которых равен одному году, отсутствуют в сообществе этих местообитаний. Завышенная доля старших когорт и заниженная младших позволило сделать заключение о том, что данная выборка является смещенной. Вблизи эродированных берегов наблюдалось обратное распределение, т.е. преобладали молодые моллюски (1–4 года), моллюски старше 10 лет встречались крайне редко.

Механизм формирования асимметрии пространственного распределения различных когорт унионид, по-видимому, связан с обитанием глохидиев в покровах и на жаберных лепестках рыб. Взрослые рыбы в середине и конце лета, в основном, находятся на глубоководных участках русла вблизи крутых, размываемых берегов. В это время молодые моллюски, разрывая покровы хозяина, выпадают на донный субстрат и переходят к свободному образу жизни. Таким способом униониды попадают в недоступные для взрослых особей биотопы: 1) подводные поверхности крутых берегов с небольшими неровностями, где оседал наилок; 2) подвижные, насыщенные водой песчаные грунты в местах просачивания из берега грунтовых вод и 3) размытые рекой корни деревьев. Самостоятельное заселение молодыми моллюсками подобных биотопов и удержание их здесь по мере взросления, как правило, невозможно. При переходе в старшие когорты (после 3–4 лет) и увеличении размеров и массы тела моллюски покидали эти биотопы. В процессе использования метода «вероятностной бумаги» возникают трудности, связанные с интерпретацией участка кривой, описывающего старшие возрастные группы: низкая скорость роста вызывает сильное перекрывание нормальных распределений соседних когорт. Средневозрастные моллюски (4–10 лет) представлены во всех пригодных для их обитания биотопах приблизительно в равной степени, они отражают реальное значение конкретных когорт во всей популяции унионид реки в целом и хорошо интерпретируются в процессе анализа.

Все полимодальные кривые, построенные нами методом «вероятностной бумаги» Хардинга, характеризовались двумя группами пиков. Каждый из пиков соответствовал модальному размерному классу определенной когорты. При этом группы пиков разделены глубоким минимумом, общим для всех видов. Он соответствовал когорте восьмилетних моллюсков, рожденным в 1990 г. (рис. 1). Такое очевидное «совпадение» дало основание для проведения более глубокого анализа с целью выяснения причин обнаруженных особенностей размерно-возрастной структуры популяции.

Было установлено, что имевшая минимальную численность среди всех возрастных групп когорта 1990 г., появилась вслед за годом крайне слабого паводка 1989 г., не превышавшего по величине максимального подъема воды 4.5 м (рис. 1, 2).

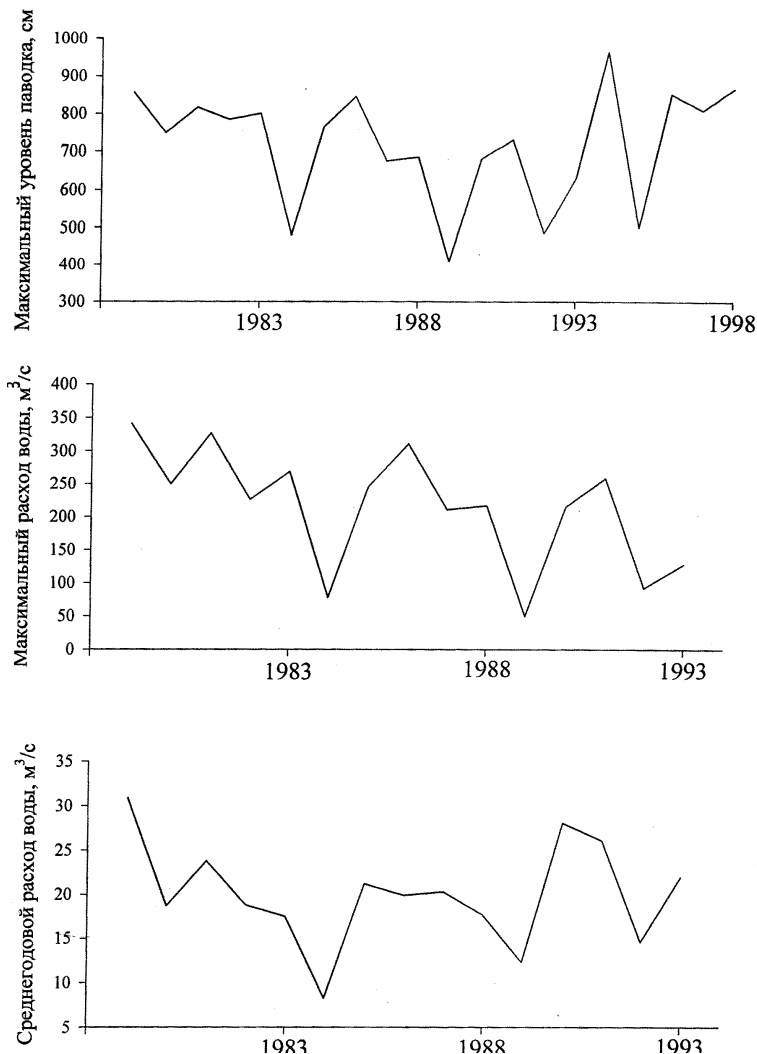


Рис. 2. Многолетняя динамика основных показателей гидрологического режима реки Медведица.

Корреляционный анализ показал наличие положительной связи модального значения функции нормального распределения соответствующих когорт  $\varphi(L)$  с максимальным уровнем паводковых вод  $H_{\max}$  в год, предшествовавший появлению данной когорты (см. табл.). Следует отметить не только положительную корреляцию между максимальным значением подъема паводковых вод и размером когорт соответствующего года, но и согласованный ответ популяций различных видов моллюсков на это воздействие (в некоторых случаях коэффициенты корреляции очень велики при  $p < 0.001$ ). Наиболее согласованно изменяются численности *Crassiana crassa*, *C. nana*, *Unio tumidus* и *U. longirostris*, что объединяет эти виды в единую группу, для которой значимость анализируемого фактора наиболее высока (в таблице выделено полужирным шрифтом).

**Таблица.** Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена, рассчитанные по модальным значениям функции плотности распределения вероятностей  $\varphi(L)$  различных когорт *Unionidae* и максимального уровня подъема весенних паводковых вод ( $H_{\max}$ )

	$H_{\max}$	<i>Crassiana crassa</i>	<i>Crassiana nana</i>	<i>Unio tumidus</i>	<i>Unio longirostris</i>	<i>Unio pictorum</i>
$H_{\max}$		0.586* 0.097**	0.552 0.156	0.668 0.049	0.544 0.130	0.646 0.083
<i>C. crassa</i>			<b>0.839</b> <b>0.009</b>	<b>0.972</b> <b>0.000</b>	<b>0.982</b> <b>0.000</b>	0.636 0.090
<i>C. nana</i>				<b>0.746</b> <b>0.034</b>	<b>0.689</b> <b>0.059</b>	0.589 0.124
<i>U. tumidus</i>					<b>0.933</b> <b>0.000</b>	0.543 0.164
<i>U. longirostris</i>						0.561 0.148
<i>U. pictorum</i>						

\* – коэффициент корреляции.

\*\* – уровень значимости коэффициента корреляции.

Высота максимального уровня подъема паводковых вод не является фактором прямого действия, однако именно она оказалась наиболее важной для популяций двустворчатых моллюсков. Другие проанализированные нами факторы водного режима: максимальный расход воды во время паводка и среднегодовой расход воды, характеризующие интегральный показатель водности года, обнаружили отсутствие достоверной связи или слабую отрицательную корреляцию с чис-



ленностью соответствующих когорт в популяциях всех изученных моллюсков.

Высота подъема паводковых вод определяет степень перекрытия между наземными и водными биотопами, она воздействует на интенсивность и качество взаимодействия между наземным и водным биоценозами. Более высокий уровень паводковых вод увеличивает площадь территории, с которой происходит поступление в водоем грубого детрита и частиц почвы, составляющих основу рациона большинства перловиц. Лучшие трофические условия в год с высоким паводком, вероятно, определяли формирование в гонадах большего количества яиц только на следующий год, т.е. наблюдалось запаздывание, отложенный функциональный ответ популяции на изменение трофических условий. Напротив, в неблагоприятные годы с низким уровнем паводка и малым поступлением терригенных органических взвесей с водосбора, может наблюдаться резорбция половых продуктов. Следует отметить, что откладка яиц в жабры у моллюсков, питающихся грубым детритом и взвешенными в толще воды частицами почвы (*Unio* и *Crassiana*), происходит в конце мая с началом межени и осветления воды. У планктоноядных видов (например, *Anodonta*) откладка яиц наступает только по окончании вегетационного сезона и снижения обилия фитопланктона [5]. У беззубок нами не наблюдается значимой зависимости репродуктивных возможностей от высоты подъема паводковых вод. Поэтому, представляется закономерным синтез половых продуктов в период трофического оптимума и их выброс по окончании оптимального периода. Вероятно, у унioniид именно трофический фактор определяет время созревания половых продуктов и их объем. Таким образом, можно считать установленным функциональный ответ популяции моллюсков – потребителей грубого сестона – на объем поступающих с водосбора пищевых ресурсов (детрита).

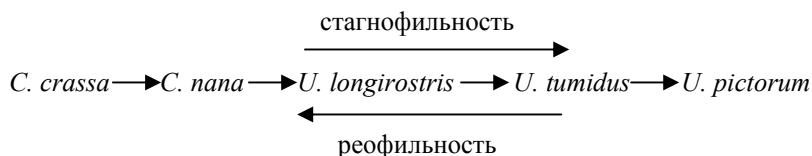
В результате регрессионного анализа получены уравнения зависимости модальных значений функции нормального распределения определенной когорты моллюсков от максимального уровня подъема паводковых вод:

<i>Crassiana crassa</i>	$\varphi(L) = 0.00754 H_{\max} - 0.03$	$H_{cr} = 4.64 \text{ м}$	$R^2 = 0.344$
<i>Crassiana nana</i>	$\varphi(L) = 0.00799 H_{\max} - 0.0331$	$H_{cr} = 4.14 \text{ м}$	$R^2 = 0.305$
<i>Unio longirostris</i>	$\varphi(L) = 0.00520 H_{\max} - 0.0207$	$H_{cr} = 3.98 \text{ м}$	$R^2 = 0.296$
<i>Unio tumidus</i>	$\varphi(L) = 0.00648 H_{\max} - 0.0224$	$H_{cr} = 3.46 \text{ м}$	$R^2 = 0.447$
<i>Unio pictorum</i>	$\varphi(L) = 0.00354 H_{\max} - 0.0044$	$H_{cr} = 1.24 \text{ м}$	$R^2 = 0.418$

Дисперсионный анализ методом главных компонент, проведенный на различных таксоценозах двустворчатых моллюсков в Чи-

выркуйском заливе оз. Байкал [13] показал, что транзитная часть детритного сестона, как экологический фактор, определяет не более 40% общей дисперсии численности организмов гильдии сестонофагов. Полученные таким способом результаты полностью подтвердились нашими данными: коэффициенты детерминации ( $R^2$ ) всех уравнений не превышают 0.45. Следовательно, воздействие паводкового режима на популяции моллюсков – потребителей грубодетритного сестона – действительно оказывается в первую очередь через пищевые ресурсы.

На основании полученных нами уравнений рассчитаны теоретические значения критически малого подъема паводковых вод ( $H_{cr}$ ), при достижении которых репродуктивный успех моллюсков стремится к нулю. Мы представляли зависимость как прямую, хотя реально связь паводкового режима и рождаемости моллюсков криволинейна и описывается кривой, асимптотически приближающейся к нулевому значению. Моллюски из рода *Unio* и, особенно, рода *Crassiana* продолжают размножаться и при отсутствии паводков, но прирост популяций, вероятно, будет отрицательный. Полученные значения  $H_{cr}$  позволили ранжировать виды моллюсков по шкале реофильность – стагнофильность по их отношению к паводковому режиму (рис. 3). Наиболее реофильные виды обитают в условиях регулярного паводкового режима, обеспечивающего поступления грубодисперстных взвесей. Стагнофильные виды предпочитают питание более мелкими взвесями или планктоном, а характер паводкового режима для них менее важен. Вероятно, селективность питания обусловлена наличием особого фильтровального аппарата, адаптированного к седиментации определенных размерных фракций сестона.



**Рис. 3.** Ранжирование различных видов перловиц (Unionidae) по отношению к паводковому режиму. По шкале реофильность – стагнофильность первый показатель возрастает слева направо, второй – справа налево.

Полученный нами экологический ряд позволяет прогнозировать последовательность исчезновения видов при изменении гидрологического режима реки. Например, после зарегулирования стока р. Волги близ г. Саратова и образования Волгоградского водохранилища в течение нескольких десятилетий наблюдалось обеднение фау-

ны крупных двустворчатых моллюсков и к настоящему времени некоторые ранее обычные виды (*Crassiana crassa*, *C. nana*, *Unio longirostris*) практически исчезли или стали очень редкими. Подобные изменения возможны и в малых реках с незарегулированным стоком.

Нами не обнаружено влияние паводкового режима на размерно-возрастную структуру популяций двустворчатых моллюсков-планктонофагов. Однако данные ряда авторов косвенно указывают на вероятность такой связи. Так, четкая периодичность в многолетней динамике численности велигеров *Dreissena polymorpha* Pallas отмечена М.Я. Кирпиченко [8]. Он, проанализировав свои данные по Куйбышевскому водохранилищу и данные А.А. Качановой (1961, цит. по [8]) по Учинскому водохранилищу, установил, что раз в 4 года наблюдается резкий минимум численности велигеров, который сравним по масштабу с теми, что наблюдались нами у унионид р. Медведица (рис. 1). Обнаруженная периодичность приблизительно соответствует частоте катастрофически малых паводков на малых реках региона в середине прошлого века (4–5 лет). Функциональный ответ планктоноядной *D. polymorpha* проявляется в минимальной величине рождаемости, вызванной, вероятно, меньшей кормностью при низкой первичной продукции фитопланктона, вызванной в эти годы малым поступлением биогенных элементов, смытых с водосборной территории паводковыми водами. Обнаруженные нами закономерности динамики численности отдельных возрастных групп и популяций двустворчатых моллюсков, питающихся взвешенным детритом, вероятно, действуют в популяциях планктоноядных видов моллюсков в условиях водохранилищ. Однако для подтверждения этой гипотезы требуются дополнительные многолетние наблюдения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Паводковый режим р. Медведицы и других малых рек претерпевает закономерные многолетние изменения. В 90-х годах прошлого столетия значительно участились годы с катастрофически низкими паводками. Если в 80-х годах и ранее паводки с максимальным уровнем подъема воды менее 4.5 м отмечались каждые 4–5 лет, то в последнем десятилетии – каждые 2–3 года (рис. 2). Если эта тенденция сохранится, то в течение нескольких ближайших десятилетий следует ожидать заметных перестроек таксономической структуры моллюскового компонента функционального блока седиментаторов. Возможно увеличение роли стагнофильных планктоноядных видов перловиц и беззубок, сопровождающееся кризисным состоянием популяций реофильных видов. Эти преобразования будут частью системы механизмов под-

держания гомеостаза экосистемы и адаптивны по своей природе. Возможно, они сохраняют эффективность функционирования единой гильдии моллюсков-седиментаторов в условиях эвтрофикации водоема, проявляющейся повышением его первичной продукции за счет планктонных сообществ.

Установленные нами закономерности перспективны с точки зрения организации биологического мониторинга долговременных (в масштабе десятилетий и более) изменений паводкового режима рек на основе анализа размерно-возрастной структуры популяций унионид.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов А.Ф. Продуктивность сообществ беспозвоночных макробентоса в континентальных водоемах СССР // Гидробиол. ж. 1982. Т.18. №2. С.7–18.
2. Алимов А.Ф. Структурно-функциональный подход к изучению сообществ водных животных // Экология. 1982. №3. С.45–51.
3. Властов Б.В. Методы определения возраста *Unionidae* по раковине и их значение в научно-промысловых исследованиях // Зап. Болшевской биол. ст. 1935. вып. 7–8. С. 133–148.
4. Жадин В.И. Пресноводные моллюски СССР. Л., 1933. 232с.
5. Жадин В.И. Семейство *Unionidae*. Фауна СССР, нов. сер. 18. Моллюски, IV, 1: I–IX. 170 с.
6. Жадин В.И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. М., Л., 1952. 376.
7. Ермохин М.В. Экологическая структура маргинальных участков речных биоценозов в переходной зоне вода – суша. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Самара, 2000. 18 с.
8. Кирпиченко М.Я. Экология ранних стадий онтогенеза *Dreissena polymorpha* Pallas (в связи с предотвращением обрастания ею гидротехнических сооружений) // Проблемы численности в экологии гидробионтов (По материалам архива ИЭВБ РАН). Тольятти: ИЭВБ РАН, 1997. С. 19–39.
9. Методы изучения двустворчатых моллюсков // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1990. Т. 219. 208 с.
10. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л., 1983. 52с.
11. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л., 1977. 512 с.
12. Рокитский П.Ф. Биологическая статистика. Минск: Высшая школа, 1976. 320 с.

13. Слугина З.В., Александров В.Н., Камалтынов Р.М. Двустворчатые моллюски (Bivalvia) в Чивыркуйском заливе озера Байкал // Зоол. журн. 1999. т. 78. Вып.10. С. 1157–1171.
14. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. М.: Финансы и статистика, 1995. 384 с.
15. Уголькова Н.Г. К вопросу о влиянии некоторых животных-детритофагов на скорость круговорота биогенных элементов в биоценозах (по экспериментальным данным) // Журн. общ. биол. 1980. Т.41, №5. С.734–742.
16. Харченко Т.А., Протасов А.А. О консорциях в водных экосистемах // Гидробиол. журн. 1981. Т.17, №4. С. 15–20.
17. Harding J.P. The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distribution // J. Mar. Biol. Ass. U. K., 1949. Vol. 28, №1. P. 141–153.

## **INFLUENCE OF A SPRING FLOODS REGIME ON SIZE-AGE STRUCTURE OF BIVALVE MOLLUSKS POPULATIONS FROM UNIONIDAE FAMILY**

**M.V. Yermokhin**

N.G. Tchernischevsky Saratov State University  
Russia, 410026, Saratov, Astrakhanskaya St., 83.  
e-mail: ermokhinmv@info.sgu.ru

The size-age structure of populations to five widespread species bivalve mollusks from Unionidae family in the Medveditza river (Saratov region) is analyzed. The basic laws of spatial distribution various age groups on habitat are shown. The quantitative connection of a maximum level of rise of spring flood level with number age group of the next year in populations of a *Unio* genus is established. The negative influence of weak spring high waters on reproductive success of larger mussels (*Crassiana*, *Unio*) is revealed. The investigated species were ranging on a rheophily – stagnophily scale by the attitude them of the population characteristics to a spring floods regime. The use of the size-age population structure analysis for biological monitoring a spring floods regime of the rivers and processes of transformation of taxonomic structure of sedimentators guild at its long-term changes are suggested in first.

Key words: sedimentators guild, bivalve mollusks, Unionidae, population structure, rivers, spring floods regime, biomonitoring.

## ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗЕЛЕННОЙ ВОДОРОСЛИ *ANKISTRODESMUS ACICULARIS* (KORSCH.) ПРИ ВОЗРАСТАНИИ КЛЕТОЧНОГО ДЕФИЦИТА ФОСФОРА

**Е.М. Ефимова**

Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

119992, Москва, Воробьевы горы, 12

e-mail: efimovael@mail.ru

При накопительном культивировании на среде с различным содержанием фосфатов максимальная численность водоросли *Ankistrodesmus acicularis* (Korsch.) снижалась с уменьшением концентрации фосфора. Закономерного снижения квантовой эффективности работы реакционных центров фотосистемы II при этом не происходило, наибольшая эффективность зафиксирована при максимальной концентрации фосфора в среде. Популяционный рост и накопление максимальной численности, отмеченные даже при четвертом пересеве на безфосфорную среду, свидетельствуют о способности *A. acicularis* накапливать значительный внутриклеточный пул фосфора, за счет чего идет рост при отсутствии данного элемента в среде.

### ВВЕДЕНИЕ

В большинстве пресноводных экосистем развитие фитопланктона и его фотосинтетическую активность лимитирует фосфор. При этом у водорослей снижаются скорости синтеза и регенерации субстратов цикла Кальвина-Бенсона [11], происходит репрессия синтеза нуклеиновых кислот на уровне транскрипции [4]. Последнее отрицательно влияет на синтез пигментов и белков фотосинтетического аппарата, эффективность световых реакций фотосинтеза, фотосинтетическую фиксацию углерода, а также скорость роста водорослей.

Настоящая работа посвящена изучению динамики численности и квантовой эффективности реакционных центров фотосистемы II в культуре зеленой протококковой водоросли *Ankistrodesmus acicularis* (Korsch.), выращенной при различном содержании минерального фосфора.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В опытах использовали бактериально чистую культуру *A. acicularis*, которую выращивали на среде Тамия [1] при температуре около 24°C и круглосуточном освещении лампами дневного света. Водоросли, находящиеся на стадии активного деления, высевали на среды с концентрациями минерального фосфора 0.9, 1.8, 4.6 и 9.0 ммоль.

Кроме этого проводили четыре последовательных пересева культуры на среду, не содержащую фосфора. Длительность I пассажа составила 67 сут, II – 58 сут, III – 41 сут, IV – 18 сут. Посевной титр составлял 15 млн. кл./л. При выходе на стационарную фазу роста культуру II пассажа делили на две подпробы, в одну из которых добавляли 29 ммоль азота, а в другую добавок не вносили.

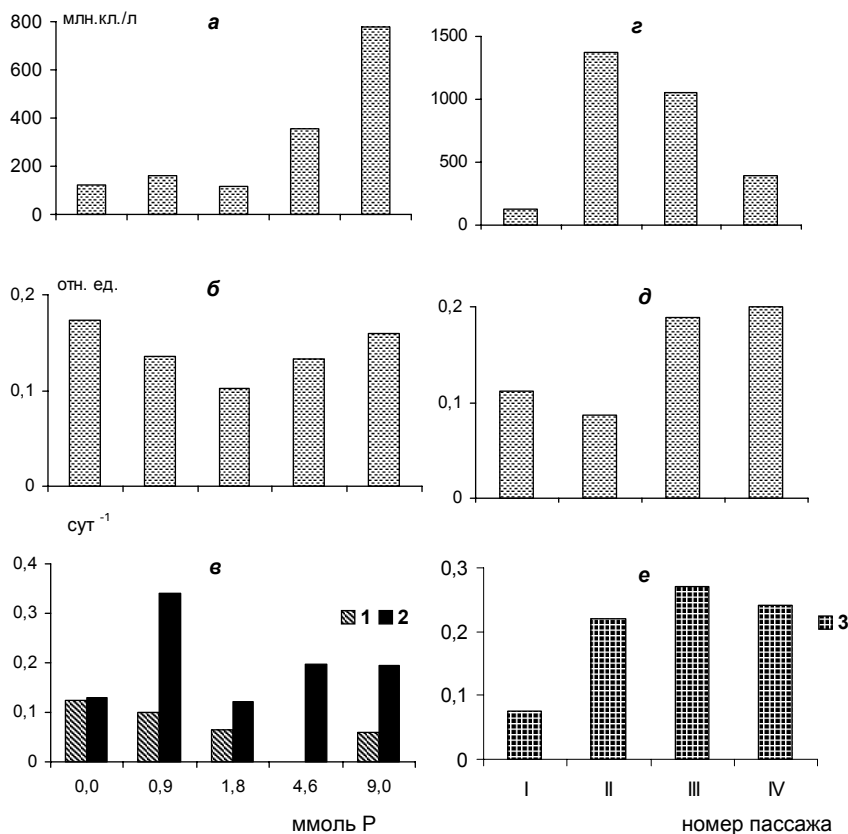
По мере роста культуры во всех вариантах опыта с интервалами 2–3 сут определяли численность клеток в камере Нажжота объемом 0.05 мл при трехкратном ее заполнении, а также квантовую эффективность работы реакционных центров фотосистемы II (РЦ ФС II) флуоресцентным методом [2]. Описание этой процедуры см. статью Ильяшенко и др., наст. сборник. Относительную скорость роста  $r$  (сут<sup>-1</sup>) рассчитывали по формуле:

$$r = 1/T \ln (N_{t+1}/N_t),$$

где  $N_{t+1}$  и  $N_t$  – численность водорослей в момент времени  $t+1$  и  $t$ ,  $T$  – промежуток между измерениями (сут)

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальная численность, которой достигала *A. acicularis* при выращивании на среде с добавками минерального фосфора, увеличивалась от 162 млн. кл./л при 0.9 ммоль Р до 775 млн. кл./л при 9.0 ммоль Р (рис. 1а). Закономерного изменения наибольших величин квантовой эффективности работы РЦ ФС II при различной концентрации добавок не наблюдали (рис. 1б). Скорость роста водоросли в первые трое суток культивирования была выше в вариантах с более низким содержанием фосфатов. В последующие пять суток скорость роста оставалась неизменной на среде без фосфора, тогда как в его присутствии она увеличивалась (рис. 1в). Увеличение было наиболее выраженным при начальной концентрации 0.9 ммоль Р, в результате чего в этом варианте получена самая высокая за первые восемь суток культивирования средняя скорость роста. Снижение скорости популяционного роста *A. acicularis* на начальных этапах культивирования при увеличении концентрации фосфора, добавленного в среду, по-видимому, обусловлено его интенсивным потреблением и переводом во внутриклеточные вещества.



**Рис. 1.** Максимальная численность (млн. кл./л), наибольшая квантовая эффективность работы РЦ ФС II (отн. ед.) и скорости роста (сут<sup>-1</sup>) *A. acicularis* при различной концентрации фосфора в среде (а, б, в) и при пассажах на среды, не содержащие фосфор (г, д, е). (1 – в I-III сут, 2 – III-VIII сут после пересева; 3 – в I-X сут культивирования).

При росте на среде, не содержащей фосфор, максимальная численность культуры I и II пассажей была накоплена на 62-е сут роста, III – на 38-е сут, IV – на 21-е сут. Максимальная численность водорослей, составившая 125 млн. кл./л при I пассаже, возрастала при II, но снижалась при III и IV. Однако даже в последнем случае ее величина (275 млн. кл./л) была выше, чем при I пассаже (рис. 1г).

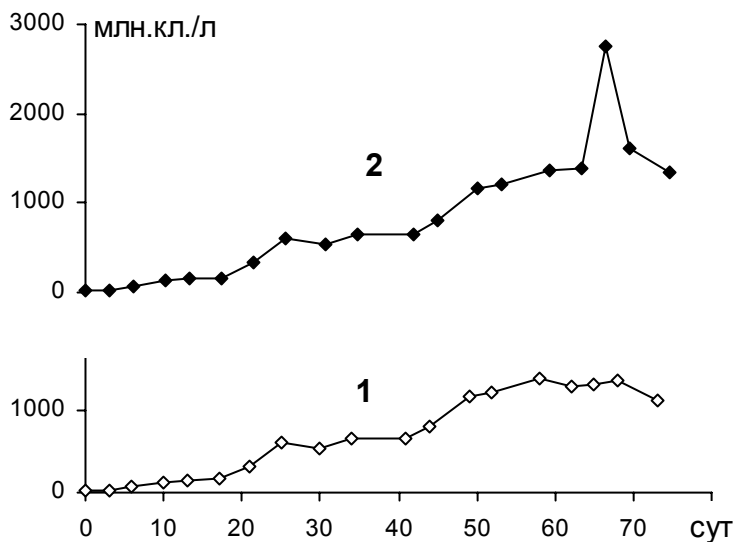
Такая динамика численности косвенно свидетельствует о том,



что при пересевах рост водорослей поддерживается за счет использования внутриклеточного пула фосфора, запасенного исходной культурой. Ассимилированные фосфаты откладываются в виде полифосфатных гранул, размер которых достигает 30-50 нм [6]; некоторые виды водорослей могут накапливать фосфат-ион в вакуолях [7]. Высокая численность культуры III и IV пассажей свидетельствует о том, что *A. acicularis* способен использовать не только внутриклеточный пул фосфорных гранул, но (как и другие микроводоросли) – фосфорилированные промежуточные продукты метаболических циклов, нуклеотиды РНК, фосфолипиды хлоропластов [3, 5, 8].

Максимальные показатели квантовой эффективности работы РЦ ФС II отмечены при III и IV пассажах на среду не содержащую фосфор (рис. 1д). Скорости роста *A. acicularis* при II-IV пассажах в первые десять суток культивирования были близкими, но становились выше, чем при I пассаже (рис. 1е).

После добавления минерального азота в культуру II пассажа наблюдали кратковременное увеличение численности клеток (рис. 2). При этом скорость роста в период с 58-х по 62-е сут составила 0.01 сут<sup>-1</sup>. При пересеве водорослей с безфосфорной среды на среду с 1.8 ммоль Р скорость роста в этот период была близка 0.



**Рис. 2.** Динамика численности *A. acicularis* в фосфор-лимитированной среде (1) и среде с добавлением минерального азота (2).

Затраты энергии и субстратов на ассимиляцию фосфора приводят к тому, что скорости роста культуры на среде с добавками фосфора ниже, чем при его отсутствии. С увеличением концентрации доступного для потребления минерального фосфора эти затраты возрастают, и скорость роста водорослей соответственно снижается. Запасенные азот и фосфор используется при исчерпании этих элементов в среде [9, 10]. Способностью накапливать значительный внутриклеточный пул фосфора и экономно его расходовать возможно обусловлено распространение *A. acicularis* в водоемах.

## ВЫВОДЫ

Максимальная численность водоросли *A. acicularis* снижалась с уменьшением концентрации минерального фосфора в культуральной среде. Закономерного снижения наибольших величин квантовой эффективности работы РЦ ФС II при этом не происходило. Скорость роста *A. acicularis* в первые трое суток культивирования увеличивалась при снижении концентрации фосфора в среде. Значительную численность *A. acicularis* накапливал даже после IV пересева на среду, не содержащую фосфор.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимирова М.Г., Семененко В.Е. Интенсивная культура одноклеточных водорослей. М: Изд-во АН СССР. 1962. 43 с.
2. Маторин Д.Н., Васильев И.Р., Ведерников В.Н. Исследование фотоингибирования первичных реакций фотосинтеза у природных популяций фитопланктона Черного моря // Физиол. раст. 1992. Т. 39, №3. С. 455–463.
3. Berdalet E., Zataza M., Estacá M. Effect of nitrogen or phosphorus starvation on nucleic acid and protein content of *Heterocapsa* sp. // J. Plankton Res. 1994. Vol. 16. № 1. P. 303–316.
4. Falkowski P.G., Raven J.A. Aquatic Photosynthesis. Malden: Blackwell Sci, 1997. 375 p.
5. Fuhs G.H. Phosphorus content and rate of growth in the diatoms *Cyclotella nana* and *Thalassiosira fluviatilis* // J. Phycol. 1969. Vol. 5, № 2. P. 312–321.
6. Harold F.M. Inorganic polyphosphates in biology: structure, metabolism and function // Bacteriol. Rev. 1996. Vol.30, № 4. P. 772–794.
7. Hearley F.P. Inorganic nutrient uptake and deficiency in algae // Crit. Rev. Microbiol. 1973. Vol. 3, № 1. P. 69–113.
8. Riegman R., Mur Z.R. Theoretical considerations on growth kinetics and physiological adaptation of nutrient – limited phytoplankton //

- Arch. Microbiol. 1984. Vol. 140, № 1. P. 96–100.
9. *Sciandra A.* Coupling and uncoupling between nitrate uptake and growth rate in *Prorocentrum minimum* (Dinophyceae) under different frequencies of pulsed nitrate supply // Mar. Ecol. Progr. Ser. 1991, Vol. 72, № 3. P. 261–269.
  10. *Sommer U.* Comparison between steady state and non-steady state competition: Experiments with natural phytoplankton // Limnol. Oceanogr. 1985. Vol. 30, 2. P. 335–346.
  11. *Woodrow B.J.A.* Enzymatic regulation of photosynthetic fixation CO<sub>2</sub> in C3 plants // Ann. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol. 1988. Vol. 39, № 1. P. 533–594.

### **DYNAMICS OF NUMBER AND PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY IN GREEN ALGAE *ANKISTRODESMUS ACICULARIS* (KORSCH.) UNDER INCREASING CELL DEFICIENCY OF PHOSPHORUS**

**E.M. Efimova**

Moscow State University, Biological Faculty

*Ankistrodesmus acicularis* (Korsch.) was cultivated on nutrient medium with varying concentrations of phosphates. Cells number and quantum efficiency of PC II reactionary centre were estimated. The highest cell numbers formed during accumulating cultivation was reduced according to decrease in phosphorus content. The highest values of the parameter were observed under maximum phosphorus content. Population growth and accumulation of significant cell number occurred by the fourth grafting on the nutrient medium without phosphorus. The last confirmed that *A. acicularis* is able to accumulate the meaningful phosphorus pool within the cell and support thus its growth in the absence of phosphorus.

## ФОРМИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗООПЛАНКТОНА В ОЗЕРЕ ШИРА

Е.С. Задереев, А.П. Толмеев

Институт биофизики СО РАН, Академгородок, 660036, Красноярск,

e-mail: egor@ibp.ru

Рассматривается динамика формирования вертикальных неоднородностей основных физико-химических и биологических параметров экосистемы меромиктического озера Ши́ра и их связь с распределением зоопланктона в озере в течение вегетационного сезона. Пик размножения веслоного рачка *Arctodiaptomus salinus* (Daday) – в начале лета. В этот период он доминирует, и составляет более 99% от общей биомассы зоопланктона. На протяжении вегетационного сезона в популяции *A. salinus* происходит смена всего одного поколения. Особи появившиеся в начале лета не дают ярко выраженного пика размножения, поскольку большая часть рачков, развившихся в старших копеподитов в середине – конце лета, погружается в гипolimнион, где их развитие замедляется под действием низких температур. Массовое размножение коловраток происходит в середине лета (июль – август) в результате чего их биомасса в этот период составляет до 50% от общей биомассы зоопланктона. Вертикальное распределение всех доминирующих в озере видов снизу ограничено сероводородной зоной. Науплиусы и копеподиты I–III стадии *A. salinus*, а также коловратка *Brachionus plicatilis* Muller предпочитают верхние прогретые слои озера. В период летней стратификации максимум биомассы зоопланктона состоящий из старших копеподитов (IV–V) и самок *A. salinus* «привязан» к глубинному максимуму биомассы зеленых водорослей, служащих предпочитаемым источником пищи. Распределение коловратки *Hexarthra oxyuris* бимодально, с максимумами в эпи- и гипolimнионе. Численность всех исследованных видов и всех размерно-возрастных групп *A. salinus* резко снижается в зоне термоклина. Средняя глубина концентрации копеподитов и самок *A. salinus* на протяжении летнего сезона увеличивается. Таким образом, пики размножения доминирующих в озере Ши́ра видов зоопланктона наблюдаются в разное время, а сами эти виды и их размерно-возрастные группы сосредоточены в разных слоях воды.

### ВВЕДЕНИЕ

Вертикальное распределение зоопланктона является одним из факторов, определяющих функционирование водных экосистем. Известно, что для многих видов морских и пресноводных Calanoida характерно сезонное изменение вертикального распределения. При этом распределение зоопланктона и его динамика тесно связаны как с особенностями жизненного цикла конкретного вида, так и с вертикальным

распределением физико-химических и биологических параметров конкретной экосистемы [7]. Несмотря на достаточно большое количество работ по исследованию этой проблемы в различных экосистемах [см. например 25], характер вертикального распределения зоопланктона в каждом конкретном случае отличается своеобразием [см. например 10, 20].

Интересным объектом для исследования механизмов формирования вертикального распределения зоопланктона служат меромиктические озера. Для них характерно четкое разделение водной толщи на ряд зон основанное на вертикальных неоднородностях температуры, концентрации кислорода и плотности воды [см. например 12]. В этом случае, создается ряд различных экологических ниш для биологических компонентов водной экосистемы. Несмотря на то, что меромиктическое озеро представляет уникальную возможность для исследования *in situ* действия различных факторов на формирование вертикального распределения зоопланктона, в мировой литературе практически отсутствуют данные о распределении зоопланктона в подобных водоемах. Меромиктическое солоноватое озеро Ши́ра (республика Хакасия) представляет собой удобный объект для исследования механизмов формирования вертикального распределения зоопланктона. С одной стороны в озере наблюдается стратификация основных физико-химических параметров [15] и биологических компонент [28, 14]. С другой стороны, пелагиаль озера Ши́ра характеризуется относительно небольшим разнообразием пелагических форм зоопланктона. К ним относятся веслоногий рачок *Arctodiaptomus salinus* (Daday), коловратки *Brachionus plicatilis* Muller и *Hexarthra oxyuris* (Zeinov) [3]. Условно в пелагическое сообщество зоопланктона в озере Ши́ра можно отнести и бентопланктический вид *Gammarus lacustris* (Amphipoda) [4]. Хищный зоопланктон и рыбы в озере отсутствуют [24]. Низкое видовое разнообразие зоопланктона снижает роль пищевой конкуренции и других межвидовых взаимодействий в формировании вертикального распределения зоопланктона в озере. На передний план выходит действие физико-химических факторов среды и индивидуальная реакция на них со стороны зоопланктеров. В работе рассматривается динамика формирования вертикальных неоднородностей основных физико-химических и биологических параметров экосистемы меромиктического озера Ши́ра и их связь с вертикальным распределением зоопланктона в озере в течение вегетационного сезона.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробы зоопланктона были отобраны в центральной части озера Ши́ра (над максимальными глубинами) в слое 0–15 м с интервалом в один метр в дневное (12–15 ч) и ночное (0–2 ч) время 13 июня, 14 июля, 12 августа и 18 октября 2001 г. С каждого горизонта отбирали по 3 литра батометром Молчанова. Весь объем отфильтровывали через сеть с размером ячеек 75 мкм и концентрировали в пробе объемом 10 мл. Пробы фиксировали 70% спиртом с добавлением 5% глицерина. В пробе учитывали весь зоопланктон под световым бинокляром при увеличении  $32\times$  в камере Богорова. Отдельно подсчитывали численность коловраток *B. plicatilis* и *H. oxyuris*, самцов, самок, копепоидов I–III (0.50–0.75 мм), IV–V (0.80–1.00 мм) и стадий науплиусов *A. salinus*. Среднюю глубину распространения популяции в толще озера рассчитывали как:

$$\bar{d} = \sum_{i=0}^{15} \frac{i \cdot n_i}{n},$$

где:  $i$  – глубина отбора проб,  $n_i$  – количество рачков в  $i$ -той пробе,  $n$  – общее количество рачков в толще.

Вертикальные профили температуры, концентрации кислорода и редокс-потенциала во все даты отбора проб (кроме июня) производили погружным зондом Hydrolab (США). В июне концентрацию кислорода измеряли стандартным методом Винклера [6], температуру – погружным термометром. Концентрацию сероводорода определяли стандартным методом [22]. Концентрацию хлорофилла «а» измеряли на двухлучевом спектрофотометре UVICOM 943 (Италия) после экстракции пигментов согласно Nusch [19]. Сырую биомассу зоопланктона подсчитывали по формулам, связывающим линейные размеры тела и вес животных [5].

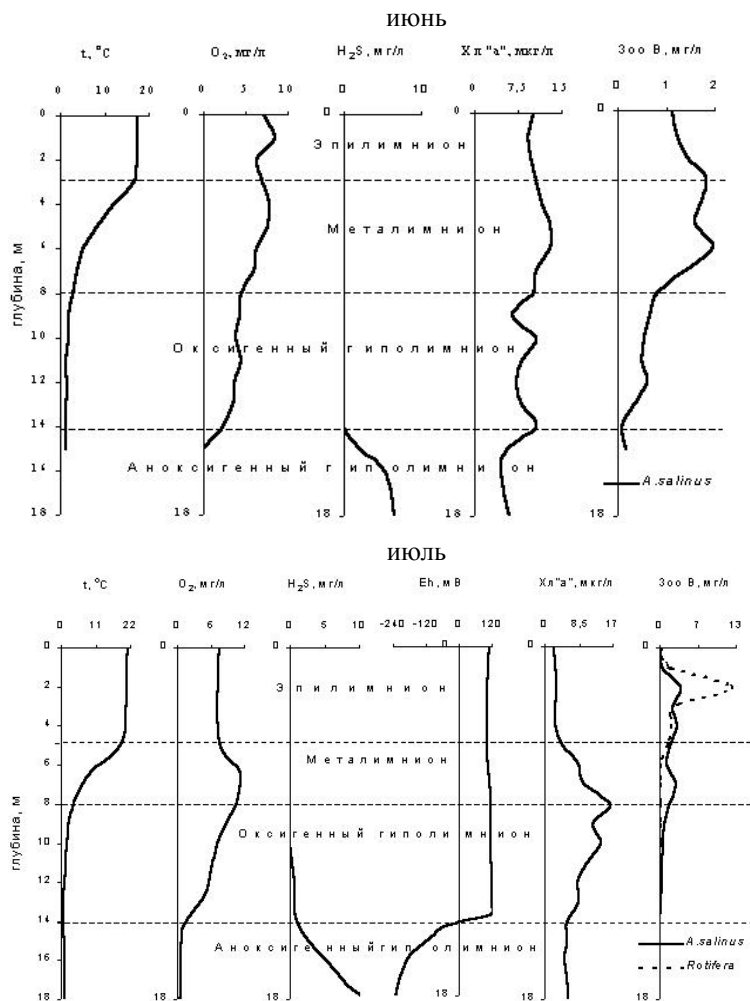
Плотность воды рассчитывали по формулам, связывающим плотность воды с температурой, соленостью и давлением [1]. Частота плавучести ( $N$ , 1/сек), характеризующая работу, которую необходимо совершить против силы тяжести для преодоления температурной стратификации в водной толще (частота Брендта-Вяйсяля) рассчитывалась как [9]:

$$N^2 = \frac{-g}{\bar{\rho}} \times \frac{\partial \rho}{\partial z}$$

где  $g$  – ускорение свободного падения ( $\text{м/с}^2$ ),  $\bar{\rho}$  – средняя плотность воды по всей водной толще ( $\text{кг/м}^3$ ),  $z$  – глубина (м).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

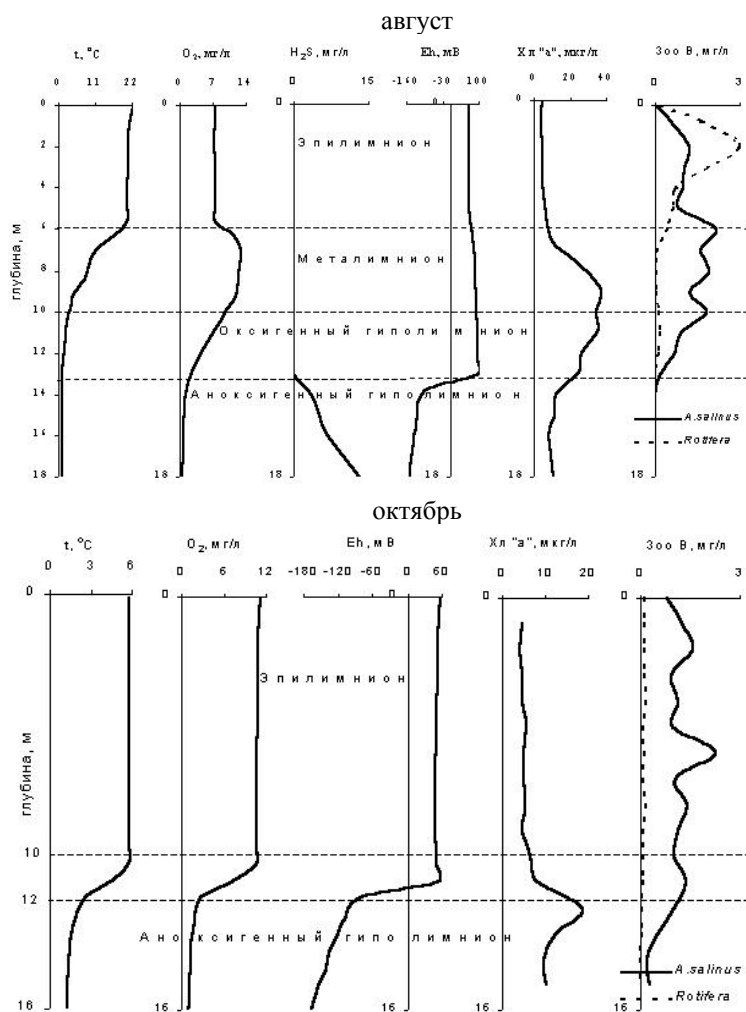
**1. Вертикальное распределение основных физико-химических и биологических параметров.** Динамика вертикального распределения температуры, концентрации кислорода, сероводорода, редокс-потенциала, концентрации хлорофилла «а» и биомассы зоопланктона в толще озера Ши́ра представлена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Вертикальное распределение основных физико-химических и биологических параметров экосистемы озера Ши́ра (июнь, июль, август, ок-

тябрь 2001 г.). Обозначения по оси X:  $t$  – температура,  $O_2$  – концентрация кислорода,  $H_2S$  – концентрация сероводорода,  $Eh$  – редокс-потенциал, Хл «а» – концентрация хлорофилла «а», Зоо В – сырая биомасса зоопланктона.

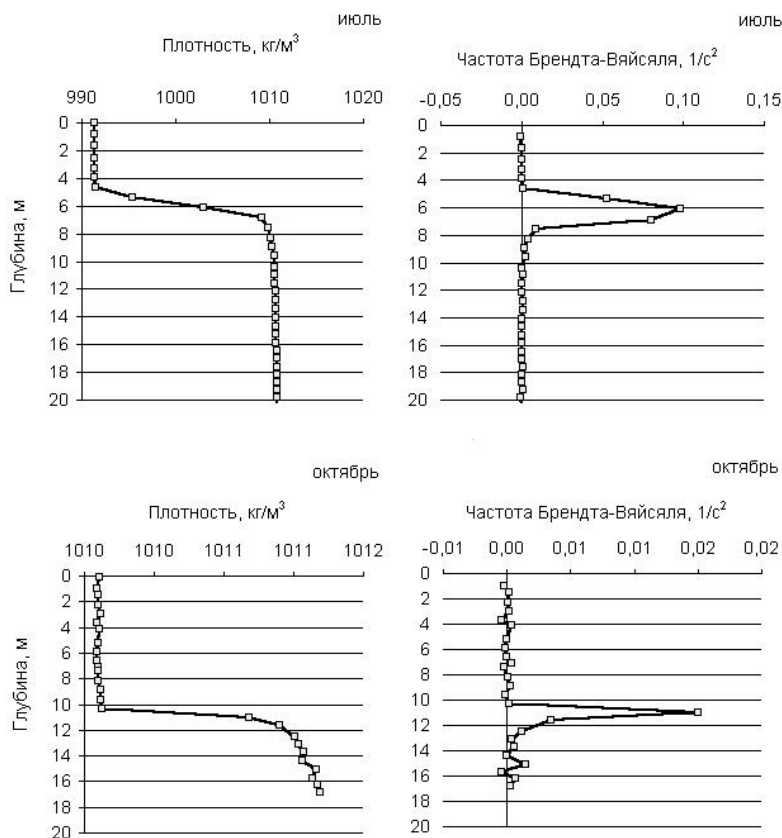
Рис. 1. Продолжение





На основании вертикальных профилей температуры, концентрации кислорода, и плотности воды водная толща озера может быть разделена на 4 зоны: эпилимнион, металимнион, оксигенный и аноксигенный гипolimнион. В летний период аноксигенный гипolimнион, ограничивающий вертикальное распределение зоопланктона снизу, начинался с глубины 13–14 метров. Граница эпилимниона с прогревом поверхностных вод озера опускалась с трех метров в июне до шести метров в августе. Несмотря на уже установившуюся в июне температурную стратификацию, хлорофилл «а» в водной толще распределен равномерно. В июле и августе максимум хлорофилла «а» расположен на границе мета- и гипolimниона, что соответствует полученным ранее данным [14]. Вертикальное распределение кислорода имело ярко выраженный пик, в котором насыщение воды кислородом превышало 100%. Он локализован над максимумом концентрации хлорофилла «а». В октябре термоклин опускался на глубину 11 метров и совпадал с началом аноксигенной зоны. На рисунке 2 представлены вертикальное распределение плотности и частоты Бренда – Вайся в июле и октябре. Видно, что в летний период (Рис. 2, июль) водная толща озера разделяется на две части (первая от поверхности до глубины 6 метров, вторая с глубины 6 метров и до дна озера), между которыми практически отсутствует гидродинамический обмен. В октябре эта граница располагается на глубине 11 метров (Рис. 2б, октябрь).

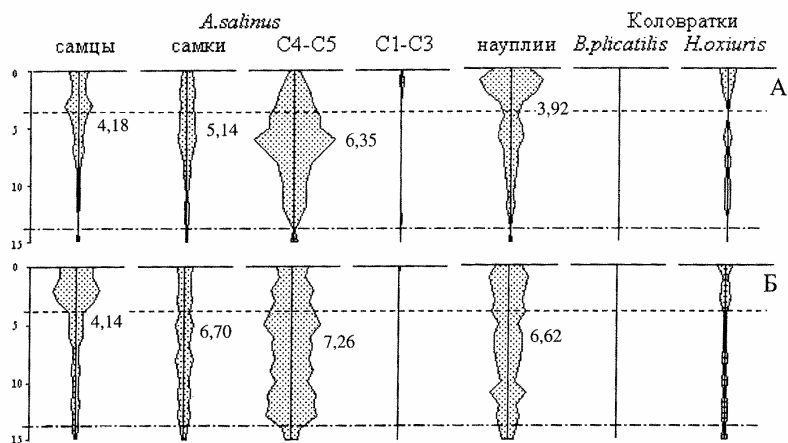
**2. Изменение численности и биомассы зоопланктона.** В пелагической части озера Шира зоопланктон представлен двумя видами коловраток (*B. plicatilis* и *H. oxyuris*) и одним видом веслоногих ракообразных (*A. salinus*). Общая численность всех возрастных стадий *A. salinus* на протяжении периода наблюдений практически не менялась (500–600 тыс.экз./м<sup>2</sup>), максимальная биомасса наблюдалась в июне (20 г/м<sup>2</sup>), к октябрю она плавно снижалась до минимального уровня 14 г/м<sup>2</sup>. В июне коловратки представлены только *H. oxyuris* (90 тыс.экз./м<sup>2</sup>), доля их биомассы в общей биомассе зоопланктона меньше 1% (0.2 г/м<sup>2</sup>). В июле происходило массовое развитие двух видов коловраток *B. plicatilis* (1000 тыс.экз./м<sup>2</sup>) и *H. oxyuris* (360 тыс.экз./м<sup>2</sup>), в результате чего доля коловраток в биомассе зоопланктона достигала 50% (16.5 г/м<sup>2</sup>). В августе, в основном за счет снижения численности *B. plicatilis* до 500 тыс.экз./м<sup>2</sup>, биомасса коловраток снижалась до 8 г/м<sup>2</sup>. В октябре количество *B. plicatilis* уменьшалась до 40 тыс.экз./м<sup>2</sup>, тогда как численность *H. oxyuris* оставалась на достаточно высоком уровне (220 тыс.экз./м<sup>2</sup>). Доля коловраток в общей биомассе зоопланктона составляла 8% (1.2 г/м<sup>2</sup>).



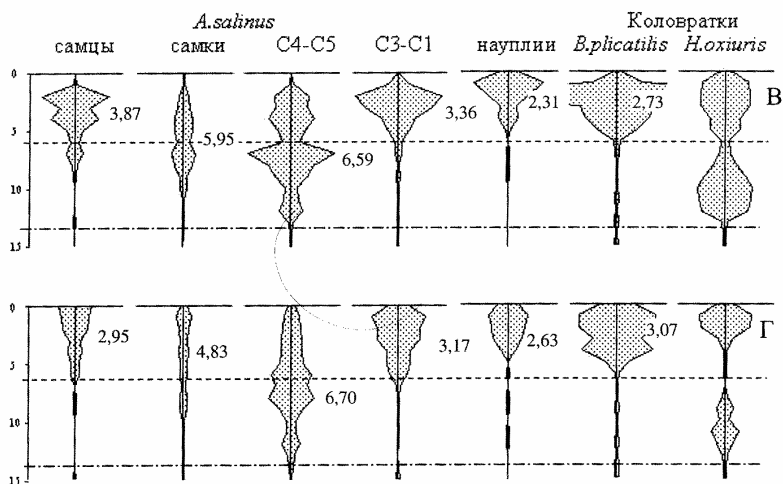
**Рис.2.** Вертикальное распределение плотности воды и частоты Бренда-Вайсяля в озере Шира (июль, октябрь 2001 г.).

**3. Размерно-возрастная структура зоопланктона и вертикальное распределение.** Динамика вертикального распределения размерно-возрастной структуры популяции *A. salinus* представлена на рис. 3. Максимумы развития различных возрастных стадий *A. salinus* наблюдались в разное время и на различной глубине. Доля самцов в популяции варьировала от 8 до 17%. В июне и июле большинство самцов находились в эпилимнионе. Позднее (август, октябрь) до глубины 10 метров они распределялись почти равномерно.

ИЮНЬ



ИЮЛЬ

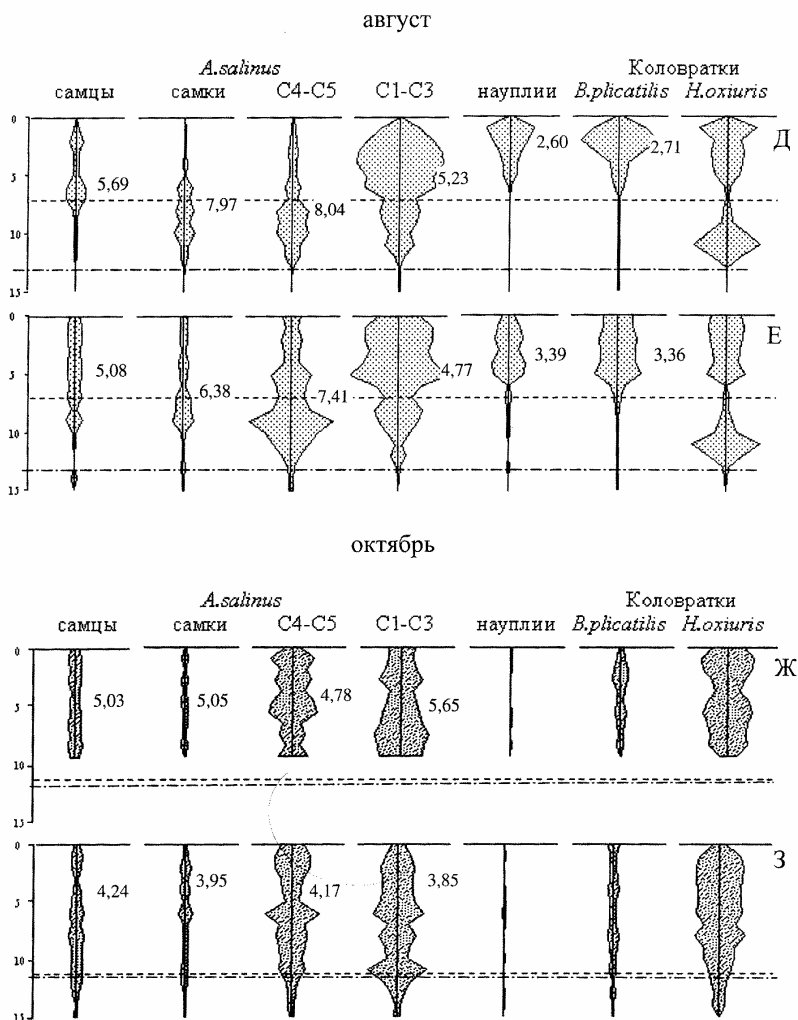


**Рис. 3.** Дневное и ночное вертикальное распределение зоопланктона на центральной станции озера Шира в слое 0-15 м. 13.06.01: а) день; б) ночь; 14.07.01: в) день; г) ночь; 12.08.01: д) день; е) ночь; 18.10.01: ж) день<sup>\*\*\*</sup>; з) ночь. Данные приведены в экз./л, длина осей абсцисс соответствует плотности 50 экз./л, кроме июня, июля, августа для *B. plicatilis* – 200 экз./л и июня, июля, августа для *H. oxuris* – 100 экз./л (.....) – середина термоклина, (---) – начало сероводородной зоны.

Цифрами на графиках обозначены средняя глубина расположения соответствующей размерно-возрастной группы. С1-С3 – копепоиды I-II стадий развития, С4-С5 – старшие копепоиды IV-V стадий.

\*\*\* – по погодным условиям отбор проб производился только до глубины 10 метров.

Рис. 3. Продолжение



Доля самок в популяции была максимальна в июне (13%), затем снижалась до 5% в октябре. В июне и октябре они распределены практически равномерно в эпи- и металимнионе до глубины 8–10 метров, в июле и августе максимум концентрации самок опускался в металимнион: в июле на глубину 4–8 метров, в августе – 6–10 метров.

В летнее время доля самок, несущих яйца составила  $20 \pm 2\%$ , а их плодовитость была  $1.72 \pm 0.15$  яиц/самку. Какой либо зависимости этих величин от глубины или времени наблюдения авторы не обнаружили. В октябре самки с яйцами в популяции отсутствовали.

В июне плотность копепоидов IV–V-ой стадий (размер больше 0.75 мм), перезимовавших с прошлого года, была достаточно высокой ( $16\text{--}20$  тыс.экз./м<sup>3</sup>), их доля в популяции составляла 46%. В июле и августе доля старших копепоидов уменьшалась до 33 и 17% соответственно, в октябре возрастала до 36%. Копепоиды IV–V в июле и в августе держались в основном в мета- и гиполимнионе. При этом на протяжении летнего сезона глубина их расположения увеличивалась. В августе более половины старших копепоидов было сконцентрировано в оксигенном гиполимнионе. В октябре они распределялись практически равномерно по всей толще воды.

В июне в популяции отсутствовали копепоиды младших возрастов. Их численность возрастала с июля (22% от общей численности *A. salinus*) по август (53% от общей численности *A. salinus*). В июле они встречались в основном в эпилимнионе (плотность 20 экз./л), в августе были обнаружены в эпилимнионе (30 экз./л), в металимнионе (16 экз./л) и в гиполимнионе (4 экз./л). В октябре доля копепоидов I–III в популяции *A. salinus* составила 45%. Как и старшие копепоиды они встречались во всем столбе воды.

Доля науплиусов в популяции была максимальна в июне (27%) и в течение лета снижалась до 13%. В октябре доля науплиусов в популяции менее 1%. Большинство науплиусов в дневное время держались в эпилимнионе.

*B. plicatilis* развивался в течение летнего сезона только в эпилимнионе. Коловратка *H. oxyuris* встречалась как в эпилимнионе, так и в гиполимнионе. Она образовывала два максимума численности ( $50\text{--}60$  тыс.экз./м<sup>3</sup>) на глубине 1–4 м и 9–12 м.

Различия между дневным и ночным вертикальным распределением зоопланктона заключались в том, что все виды и размерно-возрастные группы в дневное время в июле – августе опускались на глубину до 2-х метров.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При анализе динамики развития доминирующих видов зоопланктона в озере Шира необходимо учитывать их вертикальное распределение, так как пики размножения этих видов не совпадают по времени, а сами виды и размерно-возрастные группы концентрируются в различных слоях воды. Так пик численности *A. salinus* наблюдается в начале лета, в это время *A. salinus* доминирует в зоопланктоне. На протяжении вегетационного сезона в популяции происходит смена только одного поколения. В начале сезона старшие копепоидиты развиваются во взрослых самцов и самок, и продуцирующих науплиусов. На протяжении летнего сезона науплиусы развиваются в копепоидитов I–III стадии (их доля в популяции максимальна в августе). К октябрю большинство копепоидитов достигают IV–V стадии развития. Доля самок, несущих яйца, и их плодовитость на протяжении летнего сезона остаются на неизменном уровне, но в популяции не наблюдается ярко выраженного второго пика численности в середине – конце лета. Причиной этого, вероятно, служит погружение большей части рачков к августу в кислородный гипolimнион, где их развитие замедляется под действием низких температур. В октябре популяция *A. salinus* практически не размножается, копепоидиты различных стадий готовятся к зимовке. В целом для популяции *A. salinus* на протяжении летнего сезона характерно увеличение средней глубины расположения большинства размерно-возрастных групп (за исключением науплиусов и самцов), вызванное увеличением удельной плотности массы тела, и соответствующим погружением особей (см. Рис. 3., данные о средней глубине расположения соответствующих групп). Известно, что процесс онтогенетической миграции для морских Calanoida, характеризуется постепенным погружением особей в толщу воды с некоторой начальной глубины, сопровождаемым рассеянием погружающихся животных [7]. Ранее предполагают [8], что сезонное погружение в более глубокие слои воды копепоидитов на определенной стадии развития свойственно не только морским и пресноводным Calanoida. Представленные данные подтверждают это предположение. Разделение взрослых групп *A. salinus* по вертикали способствует эффективному использованию ресурсов и развитию популяции. Погружение на глубину самок и копепоидитов старших стадий ослабляет пищевую конкуренцию в эпилимнионе и предоставляет возможность для развития науплиусов и копепоидитов младших стадий.

Массовое размножение коловраток происходит позднее, чем размножение *A. salinus*. При этом если коловратка *B. plicatilis* сосредоточена в эпилимнионе, то вертикальное распределение коловратки

*H. oxyuris* бимодально с максимумами численности в эпи- и гипolimнионе. Согласно Рудякову [7] это является косвенным свидетельством либо существенных различий в вертикальном распределении возрастных групп популяции, либо присутствия в озере двух различных подвидов *H. oxyuris*.

Рассмотрим связь вертикального распределения зоопланктона с различными физико-химическими и биологическими факторами. Снизу распределение зоопланктона в озере ограничено наличием сероводородной зоны, которая начинается с глубины 14–15 метров в летние месяцы и поднимается до глубины 11 метров в октябре (Рис. 1).

Однако в октябре под градиентом плотности, в сероводородной зоне наблюдается сравнительно большое количество зоопланктона. В летние месяцы (Рис. 3а, б, в) начало сероводородной зоны буквально «обрезает» распределение зоопланктона, то в октябре копеподиты и самцы *A. salinus* и коловратки *H. oxyuris* на несколько метров заходят в сероводородную зону. Следует отметить, что сами по себе аноксигенные условия не всегда препятствуют нахождению в них зоопланктона. Так исследования вертикальных миграций зоопланктона в тропическом меромиктическом озере показали, что каланоидные копеподы *Acartia tonsa* в дневное время мигрируют в аноксигенные слои озера и остаются там до заката [13]. Пурпурные серные бактерии, населяющие зону хемоклина в меромиктических озерах, могут составлять до 75% в рационе *Diaptomus connexus* из канадского озера Махони [21]. В той же работе отмечено, что в период осеннего выноса серных бактерий в оксигенную зону озера, они являются одним из основных источников пищи зоопланктона. В результате до 53% органического вещества, запасенного в биомассе пурпурных серных бактерий, возвращается в круговорот углерода [21]. В период летней стратификации (август) концентрация пурпурных серных бактерий в хемоклине озера Шира достигает 500 мг сухого веса/м<sup>3</sup> [16]. Вполне возможно, что с уменьшением биомассы фитопланктона в оксигенной толще озера в осенний период зоопланктон вынужден погружаться в зону хемоклина в поисках источников пищи. Однако это предположение требует дальнейшей экспериментальной проверки.

Связь между распределением основных физико-химических и биологических факторов в оксигенной зоне озера целесообразно рассмотреть в октябре. При отсутствии неоднородностей в распределении температуры, кислорода и хлорофилла «а» (Рис. 1д), когда вертикальное распределение зоопланктона также однородно. В это время доступная для обитания зоопланктона оксигенная толща воды характеризуется одной плотностью (Рис. 2, октябрь), и гидродинамические про-

цессы обеспечивают полное перемешивание воды. Вертикального расслоения гидрохимических характеристик среды также не наблюдается и, соответственно, в водной толще не создается различных экологических ниш, что способствует равномерному распределению зоопланктона.

Однако сама по себе температурная стратификация не обеспечивает неоднородное распределение зоопланктона. На то указывают данные, полученные в июне. Вероятно, в это время года в озере только начинается вертикальное расслоение основных физико-химических и биологических параметров, и картина распределения зоопланктона еще не сформировалась. Ночью зоопланктон распределен равномерно по всей водной толще. Дневное распределение уже характеризуется разделением по слоям воды науплиусов и копеподитов старших стадий *A. salinus*. Такие большие перемещения зоопланктона в течение короткого промежутка времени можно объяснить погодными условиями и, возможно, отсутствием стабильной стратификации кислорода и хлорофилла «а». В ночь отбора проб на озере было сильное волнение, которое способствовало перемешиванию зоопланктона и выравниванию его распределения по вертикали. Перемешивание не могло охватить всю водную толщу. По-видимому, в этом случае волнение в верхних слоях озера выступает как неблагоприятное воздействие, стимулирующее миграцию зоопланктона в глубину. В безветренную погоду зоопланктон распределяется в соответствии с экологическими и физиологическими предпочтениями видов. Перераспределение зоопланктона в толще воды происходит за короткий промежуток времени (менее 12 часов). Форма дневного распределения зоопланктона в июне соответствует наблюдаемому в июле и августе: науплиусы собираются в эпилимнионе, а пик численности копеподитов старших стадий располагается под термоклином.

Достаточно равномерное распределение науплиусов по всему кислородному слою озера может быть связано с концентрацией в нем самок, несущих яйца (Рис. 3а). Однако в июле и августе основное количество самок находится в металимнионе, тем не менее отрождающиеся там науплиусы концентрируются над термоклином в эпилимнионе. Из полученных данных, не ясно, происходит ли выход науплиусов из яиц только в верхних прогретых слоях озера, и самки на время отрождения молоди вынуждены подниматься к поверхности. Или же науплиусы рождаются в пределах всей водной толщи и затем поднимаются в эпилимнион самостоятельно.

В июле и августе в озере формируется устойчивая вертикальная стратификация основных физико-химических и биологических параметров. В это время копеподиты старших стадий и самки *A. salinus*



концентрируются на большой глубине в металимнионе и оксигенном гипolimнионе. Там же на глубине 8–12 метров наблюдается максимум развития водорослей. По данным [14] разные виды доминирующих в озере водорослей локализованы на разных глубинах. Зеленые водоросли развиваются ближе к верхней границе металимниона, сине-зеленые концентрируются на большей глубине. Максимум биомассы зоопланктона располагается над максимумом хлорофилла «а» и совпадает с локализацией зеленых водорослей (Рис. 1). Лабораторные эксперименты по исследованию спектра питания *A. salinus* из озера Шира показали, что рачок потребляет практически все массовые виды водорослей, но предпочитает зеленые *Dictyosphaerium tetrachotomum* и *Oocystis submarina* [24]. *Dictyosphaerium tetrachotomum* формирует до 30% от общей биомассы фитопланктона, максимум его биомассы отмечается на глубине 8 метров [14]. Таким образом, максимум биомассы зоопланктона «привязан» к максимуму биомассы зеленых водорослей, которыми питаются животные.

Необходимо отметить, что численность всех трех видов зоопланктона и всех размерно-возрастных групп *A. salinus* снижается в зоне термоклина, который расположен в июне на глубине 4 метра, в июле – 6 метров, августе – 7 метров (Рис. 3). Вероятно, зоопланктон избегает резкого перепада температур, сходные данные приведены в работе [11].

Различие между дневным и ночным вертикальным распределением *A. salinus* скорее всего, связано с неблагоприятным влиянием интенсивной солнечной радиации. Вертикальные миграции зоопланктона в верхних слоях озера, вызванные отрицательным фототаксисом к ультрафиолетовому излучению (320–350 нм), хорошо известны [например 23].

Полученные данные не позволили зафиксировать суточные миграции зоопланктона другого типа. Например, вызванные прессом хищников. Суточные миграции многих видов зоопланктона объясняются реакцией ухода от хищников [17, 18]. Не достаточно исследована роль *Gammarus lacustris* в экосистеме озера Шира. Этот вид занимает промежуточную бентопланктонную экологическую нишу [26], и потребляет как веслоногих рачков, так и коловраток [2]. В лабораторных экспериментах этот вид поедает обездвиженных представителей зоопланктона [2]. Не ясно, питается ли он естественным зоопланктоном или собирает мертвых животных. В лабораторных экспериментах было зафиксировано действие продуктов жизнедеятельности *G. lacustris* на вертикальное распределение *A. salinus* [27]. Однако это прямо не указывает наличие отношений хищник-жертва между видами. Оценка роли бокоплава *Gammarus lacustris* в формировании вертикального распределения зоопланктона – задача будущих исследований.

Таким образом, в озере Шира наблюдается сложное вертикальное распределение зоопланктона, тесно связанное с неоднородным распределением физико-химических факторов и индивидуальными биологическими особенностями различных видов и возрастных групп зоопланктона. Пики численности доминирующих в озере Шира видов зоопланктона не совпадают во времени, а сами виды и размерно-возрастные группы одного вида разделены в пространстве. Это ослабляет пищевую конкуренцию и способствует эффективному использованию ресурсов и развитию зоопланктона.

## ВЫВОДЫ

1. Исследованы динамика формирования вертикальных неоднородностей основных физико-химических и биологических параметров экосистемы меромиктического озера Шира и их связь с вертикальным распределением зоопланктона в озере в течение вегетационного сезона.

2. Пики численности доминирующих в озере Шира видов зоопланктона не совпадают по времени (максимально количество *A. salinus* – в начале лета, коловраток – в середине лета). Сами виды и размерно-возрастные группы *A. salinus* занимают разные слои воды. Подобное разделение доминирующих видов в пространстве и времени ослабляет пищевую конкуренцию и способствует эффективному использованию ресурсов и развитию зоопланктона.

3. Сложное вертикальное распределение зоопланктона в озере Шира, тесно связано с распределением физико-химических факторов и индивидуальными биологическими особенностями различных видов и возрастных групп зоопланктона. Распространение зоопланктона на большие глубины в озере Шира ограничено наличием сероводородной зоны. В период летней стратификации максимум биомассы зоопланктона, определяющийся развитием старших копепоидов и самок *A. salinus* «привязан» к глубинному максимуму биомассы зеленых водорослей, которые служат предпочитаемым источником пищи. Численность всех доминирующих в пелагиали озера видов зоопланктона резко снижается в зоне термоклина. Средняя глубина концентрации копепоидов и самок *A. salinus* на протяжении летнего сезона увеличивается.

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке 6-го конкурса молодежных научных проектов РАН проект № 261, а также совместного гранта Минобразования РФ и Американского фонда поддержки гражданских исследований и инициатив (CRDF) «REC-002» (НОЦ «Енисей»). Авторы работы приносят благодарность Т.А. Зоти-

ной за помощь в определении содержания хлорофилла «а» в пробах, Т.Н. Ануфриевой за измерение концентрации кислорода в воде в июне 2002 года, а также А.В. Картушинскому за консультации в области оценки плотности и стабильности водных масс.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Том 2. Москва: Мир, 1986. 415 с.
2. Емельянова А.Ю., Темерова Т.А., Дегерменджи А.Г. Экспериментальное изучение питания и роста бокоплава *Gammarus lacustris* (Amphipoda, Gammaridae) из озера Шира (Хакасия). // Биология внутренних вод. 2000. № 4. С. 86–93.
3. Платонова Л.В. Зоопланктон озера Шира (Сообщение 2-е) // Ученые записки Красноярского Государственного Педагогического института. 1956. Т.5. С. 207–217.
4. Платонова Л.В. Фауна и продуктивность озера Шира // Труды Томского Государственного университета имени В.В. Куйбышева. Пятая научная конференция Томского гос. университета, посвященная 350-летию города Томска (1604–1954). Томск 1956. Секция зоологии и гидробиологии. 1956. Т. 142. С. 65–72.
5. Общие основы изучения водных экосистем. // Под ред. Г.Г. Винберга. Л.: Наука, 1979. 273с.
6. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. // Под редакцией В.А. Абакумова. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 240с.
7. Рудяков Ю.А. Динамика вертикального распределения пелагических животных. М.: Наука, 1986. 134 с.
8. Семенов Т.Н., Пастернак А.Ф., Арашкевич Е.Г. Связь особенностей вертикального распределения и жизненного цикла *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg) оз. Глубокого. // Биология внутренних вод. 1998. № 1. С. 29-39.
9. Физика океана. // Под редакцией Ю.П. Дорониной. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 296с.
10. Bayly I.A.E. Aspects of diel vertical migration in zooplankton, and its enigma variations. // In: De Deckker, P. & Williams, W. D. (eds.): Limnology in Australia. – CSIRO Australia, Melbourne, 1986. pp. 349–368.
11. Calaban M.J., Makarewicz J.C. The effects of temperature and density on the amplitude of vertical migration of *Daphnia magna*. // Limnol. Oceanogr. 1982. Vol. 27. P. 262–271.
12. Del Don C., Hanselmann K.W., Preduzzi R., Bachofen R. The meromictic alpine lake Cadagno: Orographical and biogeochemical de-

- scription. // Aquatic sciences. 2001. Vol. 63. P. 70–90.
13. DeMeester L., Vyverman W. Diurnal residence of the larger stages of the calanoid copepod *Acartia tonsa* in the anoxic monimolimnion of a tropical meromictic lake in New Guinea. // Journal of Plankton Research. 1997. Vol. 19. No. 4. P. 425–434.
14. Gaevsky N.A., Zotina T.A., Gorbaneva T.B. Vertical structure and photosynthetic activity of Shira lake phytoplankton. // Aquatic ecology. 2002. Vol. 36. No. 2. (In press).
15. Kalacheva G.S., Gubanov V.G., Gribovskaya I.V., Gladchenko I.A., Zinenko G.K., Savitsky S.V. Chemical analysis of Shira lake water (1997–2000). // Aquatic ecology. 2002. Vol. 36. No. 2. (In press).
16. Kopylov A.I., Kosolapov D.B., Romanenko A.V., Degermendzhy A.G. Structure of planktonic microbial food web in a brackish stratified Siberian lake. // Aquatic ecology. 2002. Vol. 36. No. 2. (In press).
17. Lampert W. Ultimate causes of diel vertical migration of zooplankton: new evidence for the predator-avoidance hypothesis. // Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol. 1993. Vol. 39. P. 79–88.
18. Loose C.J. *Daphnia* diel vertical migration behaviour: response to vertebrate predator abundance. // Arch Hydrobiol Beih Ergebn Limnol. 1993. Vol. 39. P. 29–36.
19. Nusch E.A. Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. // Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 1980. Vol. 14. P. 14–36.
20. Ohman M.D. The demographic benefits of diel vertical migration by zooplankton. // Ecol. Monogr. 1990. Vol. 60. P. 257–281.
21. Overmann J., Hall K.J., Northcote T.G., Beatty J.T. Grazing of the copepod *Diaptomus connexus* on purple sulphur bacteria in a meromictic salt lake. // Environmental Microbiology. 1999. Vol. 1. No. 3. P. 213–221.
22. Standart methods. For the examination of water and wastewater. // Ed. By Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg, R. Rhodes Trussels. 1989. Washington DC 20005.
23. Storz U.C., Paul R.J. Phototaxis in water fleas (*Daphnia magna*) is differently influenced by visible and UV light // J. Comp. Physiol. A. 1998. Vol. 183. P. 709–717.
24. Tolomeev A.P. Phytoplankton diet of *Arctodiaptomus salinus* (Copepoda, Calanoida) in Shira lake (Khakasia) // Aquatic ecology. 2002. Vol. 36. No. 2. (In press).
25. Vuorinen I., Kurki H., Bosma E., Kalangali A., Molsa H., Lindqvist O.V. Vertical distribution and migration of pelagic Copepoda in lake Tanganyika. // Hydrobiologia. Vol. 407. P. 115–121.
26. Yemelyanova A.Yu., Temerova T.A., Degermendzhy A.G. Distribution

- of *Gammarus lacustris* sars (Amphipoda, Gammaridae) in Shira lake (Khakasia, Siberia) and laboratory study of its growth characteristics. // Aquatic ecology. 2002. Vol. 36. No. 2. (In press).
27. Zadereev Ye.S., Gubanov V.G. The effect of chemicals released by *Gammarus lacustris* on the depth distribution of *Arctodiaptomus salinus* in laboratory conditions // Aquatic ecology. 2002. Vol. 36. No. 2. (In press).
28. Zotina T.A., Tolomeev A.P., Degermendzhy N.N. Lake Shira, a Siberian salt lake: ecosystem structure and function. 1: Major physico-chemical and biological features. // International Journal of Salt Lake Research. 1999. Vol. 8. P. 211–232.

## THE FORMATION OF THE VERTICALLY STRATIFIED DISTRIBUTION OF ZOOPLANKTON IN SHIRA LAKE

Zadereev Ye.S., Tolomeev A.P.

Institute of Biophysics SB RAS, Akademgorodok, 660036, Krasnoyarsk

We examine the relationship between vertical distribution of zooplankton and vertical stratification of main physico-chemical and biological parameters of the ecosystem of meromictic lake Shira during vegetation season. The reproduction peak of *Arctodiaptomus salinus* was detected at the beginning of summer. At that time *A. salinus* constitutes up to 99% of total zooplankton biomass. During the vegetation season transition of only one generation occurs in the population of *A. salinus*. Animals appeared at the beginning of summer do not produce pronounced second reproduction peak at the middle of summer, as the majority of late copepodides (C4–C5) submerge into the oxygenic hypolimnion where their development slow down under the effect of low temperature. The mass reproduction of rotifers is at the middle of summer (July – August). As a result the biomass of rotifers during this period reaches 50% of total zooplankton biomass. The vertical distribution of all dominant zooplankton species is limited by anoxic hypolimnion. Nauplii and young copepodides (C1–C3) of *A. salinus* as well as *Brachionus plicatilis* prefer upper warm waters. During summer stratification the maximum of zooplankton biomass which consist mainly of late copepodides and females of *A. salinus* is «tied» to the deepened maximum of green algae biomass. The vertical distribution of *Hexarthra oxyuris* is bimodal with two maximums in epi- and hypolimnion. Numbers of all recorded species and all detected size and age classes of *A. salinus* sharply declines in the thermocline. The average depth of copepodides and females of *A. salinus* increases during summer season. Thus, the reproduction peaks of dominant species is separated in time while dominant species and different size and age classes of the same species separated in space.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ТОМИ В ПЕРИОД ПОНИЖЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА САМООЧИЩЕНИЯ

Е.Ю. Зарубина, В.В. Кириллов, Г.И. Тушкова, Л.А. Долматова,  
Г.В. Ким, Т.В. Кириллова, М.И. Ковешников, Е.Н. Крылова

Институт водных и экологических проблем СО РАН,

656099, г. Барнаул, ул. Папанинцев, 105.

E-mail: kirillov@iwer.ab.ru.

В 2000–2001 гг. проведены исследования качества воды, состава донных отложений и структурно-функциональных характеристик биоценозов реки Томи. Цель исследований – оценка современного состояния экосистемы реки в период пониженного потенциала самоочищения (в осеннюю межень и весной перед окончанием ледостава). Уровень загрязнения воды и донных отложений определялся по содержанию летучих фенолов и нефтепродуктов. Уровень трофности и сапробности оценивался по содержанию хлорофилла «а», по составу и количеству перифитона, зоопланктона, зообентоса и водных сосудистых растений. Проводили биотестирование воды и донных отложений с использованием в качестве тест-объекта *Photobacterium phosphoreum*. На р. Томи было выделено три наиболее загрязненных участка – ниже гг. Новокузнецка, Кемерово и Томска соответственно. Наиболее чистый участок, расположенный в районе предполагаемого строительства Крапивинского водохранилища, характеризовался олиготрофными олигосапробными условиями, а также невысокими концентрациями нефтепродуктов и фенолов, что свидетельствует о достаточном самоочищении реки и ее способности справляться с негативным влиянием г. Новокузнецка даже в период пониженного потенциала самоочищения.

### ВВЕДЕНИЕ

Бассейн р. Томи расположен на юге Западной Сибири и является частью водосборного бассейна р. Оби. Река Томь длиной 827 км берет начало на западном склоне Абаканского хребта и по гидрологическим характеристикам относится к средним рекам [13]. Распределение годового стока неравномерное и характеризуется типичным для сибирских рек уменьшением количества воды в периоды летне-осенней и зимней межени [4]. Эти периоды и выбраны для исследований. В агрографическом отношении бассейн реки весьма разнообразен – горные хребты на периферии в центральной и нижней части сменяются равнинными участками, но в целом река относится к типу горных [1]. Основной тип грунта – галечник с илистыми или песчаными наносами. В районе предполагаемого строительства Крапивинского водохранилища в р. Томь впадают ряд ручьев, р. Аба (левый приток), несущая

шахтные воды, и четыре правых притока (три Терси и Тайдон), стекающих с отрогов Кузнецкого Алатау [3].

Особенностью данной реки является олиго- и мезотрофность речных вод и низкий исходный потенциал биологического самоочищения, обусловленный слабым развитием биоценозов. Низкая температура воды весной в период максимального поступления с водосборного бассейна загрязняющих веществ, а также расположение промышленных центров в верховьях реки, еще больше обостряет ситуацию. По данным О.П. Андрахановой с соавт. [1], в бассейне Томи сосредоточено 30% промышленного потенциала территории Обского бассейна. Преимущественно это самые энергоемкие и дающие наибольшее количество отходов отрасли промышленности – металлургическая, угледобывающая, химическая и энергетическая.

Еще больше ситуация осложняется в период летне-осенней и зимней межени, когда низкий уровень воды, невысокая температура, окончание (или самое начало) вегетационного периода и связанное с этим существенное уменьшение количества гидробионтов обуславливают пониженный потенциал самоочищения реки [6]. Поэтому, целью исследований была оценка современного состояния экосистемы р. Томи в период пониженного потенциала ее самоочищения.

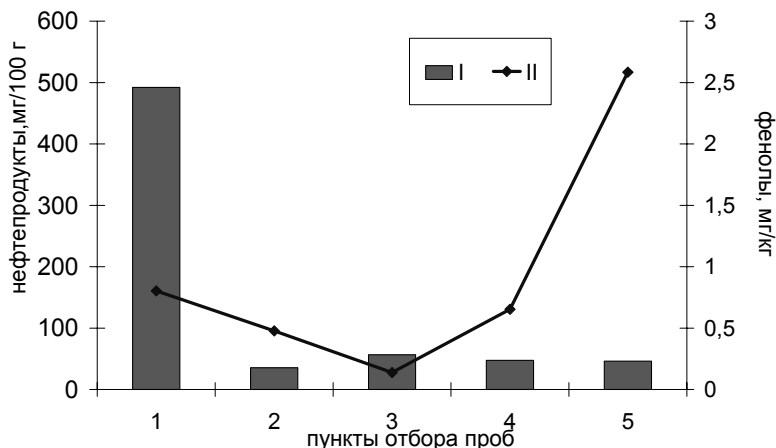
## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2000–2001 гг. проведены исследования воды, донных отложений и структурно-функциональных характеристик биоценозов реки Томи. Пробы отбирали на 11 участках реки от с. Камушко до г. Томска в период осенней межени (конец сентября – начало октября 2000 г.) и окончания ледостава (март 2001 года). Осеннюю съемку проводили с левого берега реки на 5 станциях от с. Ерунаково (ниже г. Новокузнецка) до с. Мозжуха (ниже г. Кемерово); весеннюю съемку – на 8 станциях от с. Камушко (выше г. Междуреченска) до пункта, расположенного под г. Томском. Весной – пробы отбирали в полыньях и лунках с разных берегов. Отбор и камеральную обработку проб проводили общепринятыми гидробиологическими методами [2, 5, 9].

Уровень загрязнения воды и донных отложений определяли по содержанию летучих фенолов и нефтепродуктов. Уровень трофности и сапробности оценивали по содержанию хлорофилла, по составу и количеству перифитона, зоопланктона, зообентоса и водных сосудистых растений [9, 11, 14]. Оценку токсичности воды и донных отложений проводили методом биотестирования с использованием в качестве тест-объекта *Photobacterium phosphoreum* [14].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Нефтепродукты и летучие фенолы.* В период осенней межени в донных отложениях р. Томи наибольшее количество нефтепродуктов было отмечено у с. Ерунаково – 492 мг/100г, здесь же наблюдалось и относительно высокое содержание летучих фенолов – 0.8 мг/кг (рис. 1). В районе с. Усть-Нарык содержание нефтепродуктов в донных отложениях было минимальным до 35.4 мг/100г, при концентрации летучих фенолов 0.47 мг/кг. В то же время в этом пункте (с. Усть-Нарык) зафиксированы высокие концентрации летучих фенолов в воде – 5.51 мг/л. Однако максимальные значения концентраций летучих фенолов как в воде, так и в донных отложениях 30 мг/л и 2.58 мг/кг были в районе с. Можуха, расположенного ниже г. Кемерово.



**Рис. 1.** Содержание летучих фенолов и нефтепродуктов в донных отложениях р. Томи в период осенней межени 2000 г. (1- с. Ерунаково, 2- с. Усть-Нарык, 3 – с. Салтымаково, 4 – с. Металлоплощадка, 5 – с. Можуха; I – нефтепродукты, II – летучие фенолы).

В период весенней межени концентрации летучих фенолов в воде были значительно ниже чем осенью, а превышение ПДК наблюдалось только ниже г. Кемерово (с. Вертомка – 2.7 мг/л) и г. Томска (2.5 мг/л).

*Пигментные характеристики фитопланктона.* В осенний период концентрация хлорофиллов «а» и «b» уменьшалась в направлении от с. Ерунаково вниз по течению от 7 и 3 мг/л соответственно до

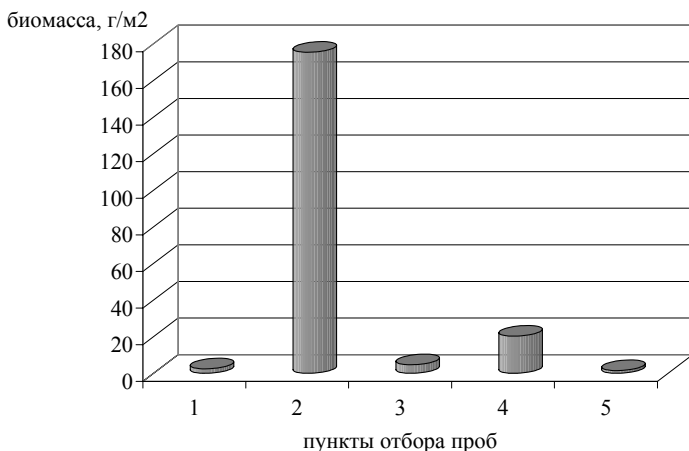


2 мкг/л, с незначительным повышением в конечном пункте – с. Мозжуха. Содержание хлорофилла «с» было минимальным (0.9 мкг/л) у с. Ерунаково и максимальным (2.6 мкг/л) у с. Усть-Нарык. Удельное содержание хлорофилла «а» в общей сумме зеленых пигментов вниз по течению реки изменялось от 63% (с. Ерунаково) до 32% (с. Мозжуха), а вклад хлорофилла «с», напротив, увеличивался от 9% до 38% соответственно. Относительная доля хлорофилла «b» на исследованном участке реки варьировала от 21% до 32%, с минимумом у с. Салтымаково и максимумом у с. Металлоплощадка (выше г. Кемерово). Пространственное распределение концентрации каротиноидов также было неоднородно и повторяло динамику содержания зеленых пигментов. В целом содержание каротиноидов превышало количество хлорофилла «а» в 2–3 раза и снижалось вниз по течению. Величина пигментного индекса (ПИ) варьировала в узких пределах от 3.8 до 4.6 во всех пунктах за исключением с. Ерунаково, где зарегистрирован максимум равный 10.5.

**Фитоперифитон.** В составе фитоперифитона р. Томи в период осенней межени обнаружено 159 видов водорослей из пяти отделов, 32 семейств. Преобладают диатомовые и зеленые водоросли (61.6% и 22.6% от общего числа видов соответственно). Большинство представителей фитоперифитона – это виды с широким ареалом распространения (космополитным и бореальным 71.1 и 24.8% соответственно).

Наибольшую биомассу формируют сообщества водорослей в устье р. Нарык (с. Усть-Нарык) –  $175.4 \text{ г/м}^2$ , основную часть которой составляют зеленые водоросли *Spirogira sp.* и колонии *Fragilaria* (*F. brevistriata* Grun., *F. capucina* Desm., *F. leptostauron* (Ehr.) Hust.). Наименьшая биомасса зарегистрирована от с. Мозжуха ( $1.48 \text{ г/м}^2$ ) до с. Ерунаково ( $2.5 \text{ г/м}^2$ ), где сброс шахтных вод обуславливает высокую мутность воды (рис. 2). От с. Усть-Нарык до с. Мозжуха численность диатомей уменьшается от 27 млн. кл./см<sup>2</sup> до 85.7 тыс. кл./см<sup>2</sup> соответственно, а процент пустых створок относительно числа живых клеток, напротив, возрастает от 24 до 62.5%.

Среди всех встреченных видов водорослей перифитона, 77 являются индикаторами сапробности. Среди них преобладают виды – показатели чистой воды (олиго-, бета-, ксено-бета-мезосапробы) – 72.7% сапробной группы. Доля индикаторов повышенного органического загрязнения (альфа-, бета-альфа-мезосапробы) возрастает вниз по течению с 20% (с. Усть-Нарык) до 32% (с. Мозжуха).



**Рис. 2.** Биомасса фитоперифитона р. Томи в период осенней межени 2000 г. (1 – с. Ерунаково, 2- с. Усть-Нарык, 3- с. Салтымаково, 4 – с. Металлоплощадка, 5 – с. Мозжуха).

**Сосудистые растения.** На исследованном участке реки обнаружено 13 видов водных сосудистых растений, относящихся к 11 родам и 11 семействам. Три вида макрофитов *Potamogeton perfoliatus* L., *P. pectinatus* L., *Myriophyllum spicatum* L. встречаются почти во всех пунктах отбора проб и являются доминантами растительных сообществ. Наибольшее видовое разнообразие отмечено у с. Салтымаково, где наряду с рдестами и урутью на мелководье встречается *Callitriche hermaphroditica* L. Доминирование этих видов характеризует весь исследованный участок реки как мезотрофный. Уровень трофности водотока вниз по течению реки повышался и угнетенное состояние растительности было отмечено только у с. Ерунаково (ниже г. Новокузнецка).

**Зоопланктон.** В зоопланктоне р. Томи обнаружено 6 видов беспозвоночных, 5 из которых принадлежат отряду Cladocera и 1 – классу Rotatoria. Среди Cladocera, как по численности, так и по видовому разнообразию преобладали рачки семейства Chydoridae. Средняя численность зоопланктона в целом для реки была очень низкой и составляла 48 экз./л (Cladocera – 44, Rotatoria – 4), максимальная – 180 экз./л в районе с. Салтымаково. Численность и видовое разнообразие зоопланктона повышались от с. Ерунаково до с. Салтымаково, а на участке реки от с. Металлоплощадка до с. Мозжуха вновь наблюдалось

снижение качественных и количественных характеристик. Все зоопланктеры относятся к зарослевому комплексу и большинство из них являются индикаторами олиго-бета-мезосапробной зоны.

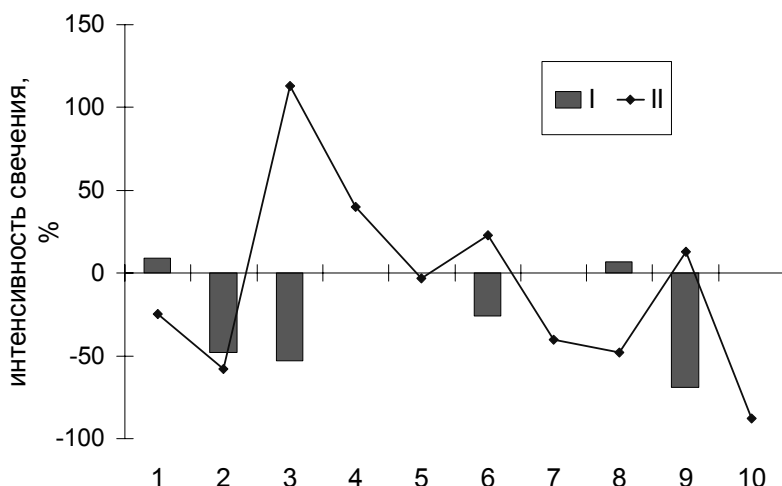
**Зообентос.** На исследованном участке р. Томи выявлено 15 видов донных животных, относящихся к 8 семействам, 6 отрядам и 5 классам. По видовому разнообразию и биомассе лидировали двукрылые (преимущественно сем. Chironomidae), а по численности – личинки водяных клопов (*Corixa dentipes*).

Обнаруженные виды широко распространены в Голарктике, являются лимнофилами или потамофилами, приурочены к песчано-каменистой литорали озер и рек (часто заиленной), а также к зарослям макрофитов. Большинство обнаруженных форм зообентоса являются растительными и грунтовыми. В целом для зообентоса отмечены низкие показатели численности и биомассы, что обусловлено временем отбора проб. Весной средняя численность зообентоса, по сравнению с осенним периодом увеличилась с 1000 до 8000 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса от 1 до 6 г/м<sup>2</sup>. Полученные количественные показатели зообентоса колебались в пределах, характерных для района исследований [15]. По числу видов в осенний период лидировали хирономиды и олигохеты. В весенний период в группе доминантов появились также ручейники и поденки, которые по числу видов примерно равны олигохетам. В отличие от летнего периода [15], в составе зообентоса отсутствовали стрекозы и лимониды.

Максимальные величины индекса сапробности (S), рассчитанного по методу Пантле и Букка, отмечены у с. Ерунаково (S=3, альфа-мезосапробные условия). Ниже по течению на участке реки от с. Усть-Нарык до с. Салтымаково величина индекса сапробности составляет 1.3 и 1.5 соответственно (олигосапробные условия). У с. Металлоплощадка (выше г. Кемерово) S=1.9 (бета-мезосапробные условия), а ниже города – у с. Мозжуха – обнаружен единственный экземпляр бета-мезосапробного вида (*Sphaerium corneum*).

**Биотестирование.** Биотестирование воды р. Томи показало, что у с. Камешек, расположенного выше г. Междуреченска, вода ингибирует свечение тест-организмов до -25%, что лежит в пределах точности измерений ( $\pm 25\%$ ), и что можно считать фоновым уровнем токсичности и совпадает с данными некоторых авторов [8]. Ниже г. Новокузнецка вода у с. Славина ингибирует свечение тест-организмов до -58%, а ниже по течению вода у с. Осинное Плесо, расположенного выше устья р. В. Терсь, вызывает стимуляцию люминесценции фотобактерий до +113%, что в известной степени связано с повышенным содержанием органических компонентов в болотистых

участках реки. Речная вода у с. Салтымаково (верхний бьеф плотины) стимулирует свечение тест – организмов до +40% (рис. 3). В пробе воды из нижнего бьефа Крапивинской плотины, а также у с. Металлоплощадка (выше г. Кемерово), отмечено отсутствие загрязнения, так как вода снижала интенсивность свечения всего на -3% и +23% соответственно. Ниже г. Кемерово у с. Верхтомка компоненты воды угнетали люминесценцию до -40%, у с. Ярское – до -48%. Самый высокий уровень токсичности воды был зафиксирован ниже г. Томска, где угнетение люминесценции достигало -88%.



**Рис. 3.** Динамика качества природных вод и донных отложений р. Томи по результатам биотестирования (весна 2001 г.) (1 – с. Камешек, 2 – с. Славино, 3 – с. Осинное Плесо, 4 – с. Салтымаково, 5 – п. Крапивинский, 6 – с. Металлоплощадка, 7 – с. Верхтомка, 8 – с. Ярское, 9 – выше г. Томска, 10 – ниже г. Томска; I – донные отложения, II – вода).

Уровень токсичности донных отложений на исследованном участке реки не всегда совпадал с уровнем токсичности воды (рис. 3). Значительное ингибирование люминесценции тест-организмов в донных отложениях отмечено только у с. Славино (-48%), с. Осинное плесо (-53%) и выше г. Томска (-69%).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Нефтепродукты являются основными веществами, загрязняющими реку Томь [10]. По результатам наших исследований содержание нефтепродуктов в донных отложениях в период осенней межени в целом было невысоким и достигало максимальных значений только у с. Ерунаково, расположенного ниже Новокузнецкого промышленного узла. Наряду с этим, в данном пункте был зарегистрирован и относительно невысокий, вопреки ожиданию, показатель концентрации летучих фенолов в донных отложениях (0.8 мкг/кг). Возможно, это объясняется характером грунта – наличием илового эффекта, способствующего, по данным некоторых исследователей [7] уменьшению этого показателя до 50% за сутки. В районе с. Усть-Нарык содержание нефтепродуктов и фенолов в донных отложениях уменьшается благодаря разбавляющему влиянию притоков, а также существенному снижению антропогенной нагрузки. Однако в воде содержание фенолов повышается, по-видимому, в связи с преобладанием, вниз по течению, песчано-каменистых грунтов и исчезновением илового эффекта. Максимальные значения концентраций летучих фенолов как в воде, так и в донных отложениях были отмечены в районе с. Мозжуха, расположенного ниже г. Кемерово.

В период осенней межени фенольное загрязнение воды в реке было значительно выше, чем весной в период ледостава и составляло в среднем 7.5 ПДК и 1.2 ПДК. Это согласуется с данными предыдущих исследователей, отмечающих максимум загрязнения нефтепродуктами в период зимней межени [10].

По результатам исследований можно выделить три наиболее загрязненных фенолами и нефтепродуктами участка реки: ниже г. Новокузнецка (донные отложения), в районе г. Кемерово и г. Томска (вода и донные отложения). Самый большой пик загрязнения воды и донных отложений летучими фенолами отмечен в районе г. Кемерово, что связано с антропогенными источниками загрязнения – предприятиями г. Кемерово и почти полным отсутствием илового эффекта. Локальные участки загрязнения реки тяжелыми металлами, связанные с промышленной деятельностью гг. Новокузнецка, Кемерово были отмечены в 1990–1991 гг. Т.С. Папиной, Е.И. Третьяковой [10]. Проведенное нами исследование водной экосистемы реки, подтвердило, что через 10 лет ситуация здесь не улучшилась.

В районе с. Ерунаково, расположенного ниже г. Новокузнецка отмечены максимумы концентраций хлорофиллов «а» и «b», удельного содержания хлорофилла «а» в сумме пигментов, максимум каротиноидов, ПИ, феопигментов, а также отношений  $Xл\langle a \rangle / Xл\langle c \rangle$  и Ка-

рот./Хл«а». Высокое содержание хлорофиллов «а» и «b» при минимальном количестве хлорофилла «с» на данном участке косвенно свидетельствует о присутствии зеленых и эвгленовых водорослей в составе доминирующего комплекса, который характерен для эвтрофных водных объектов. В этом же пункте были отмечены минимальная биомасса фитоперифитона, угнетенное состояние высшей водной растительности, единичные экземпляры зоопланктона, максимальные величины индекса сапробности по зообентосу, характерные для альфа-мезосапробных условий. Наряду с полученными данными о высоких концентрациях нефтепродуктов в донных отложениях, это свидетельствует о неблагоприятном состоянии водной экосистемы реки в районе с. Ерунаково, что связано с негативным воздействием Новокузнецкого промышленного центра.

Ниже по течению у с. Усть-Нарык наблюдалось типичное для реофильного диатомового фитопланктона количество и соотношение всех пигментов, максимальное значение биомассы фитоперифитона, восстановление зарослей, повышение численности зоопланктона, а величина индекса сапробности по зообентосу соответствовала олигосапробным условиям.

Анализ количественного развития биоценозов показал, что в целом на исследованном участке реки от с. Ерунаково до с. Мозжуха вниз по течению наблюдается уменьшение количественных показателей фитоперифитона, зоопланктона и зообентоса. Значительное уменьшение вниз по течению реки численности диатомовых водорослей, основного структурообразующего отдела фитоперифитона р. Томь свидетельствует о снижении их жизненной активности, а следовательно и о неблагоприятном состоянии фитоперифитона. Средняя численность зоопланктона, отмеченная нами в период осенней межени была на несколько порядков ниже, чем в августе этого же года [12], что, вероятно, связано с резким похолоданием в этот период, и также снижалась вниз по течению.

В период осенней межени по содержанию хлорофилла «а» исследованный участок реки от с. Ерунаково до с. Мозжуха соответствует по классификации М. Оуэнса [16] олиготрофно-мезотрофным водотокам. В составе зоопланктона преобладают виды-индикаторы олигобетамезасапробной зоны, населяющие умеренно- или слабозагрязненные водоемы.

По количественным характеристикам зообентоса в период осенней межени и перед окончанием ледостава весь исследованный участок реки в среднем является бета-мезосапробным, характеризующим водоток как слабо загрязненный.

По результатам токсикологической оценки качества воды в период весенней межени наиболее чистой была вода ниже п. Крапивинский и выше г. Томска, где отмечена интенсивность свечения -3% и +13% соответственно. Если вода реки ниже г. Новокузнецка (с. Славино) угнетает свечение тест-организмов, то ниже по течению в с. Осиновое Плесо отмечена высокая стимуляция люминесценции (+113%), что связано с характером донных отложений – наличием илового эффекта. Возрастание токсичности воды ниже промышленного узла г. Кемерово (с. Верхтомка, с. Ярское) указывает на негативное влияние промстоков города на качество воды в реке. Отмеченные для донных отложений р. Томи высокие уровни токсичности грунтов также приурочены к местам сброса промстоков больших городов: Междуреченска, Новокузнецка и Кемерово. Если в районе г. Междуреченска и г. Новокузнецка в составе донных отложений преобладают илы, абсорбирующие большое количество токсикантов на этих участках реки, то токсические компоненты воды от г. Кемерово проходят транзитом песчано-галечные грунты вниз по течению и оседают в значительных концентрациях в донных отложениях выше г. Томска, угнетая люминесценцию фотобактерий до -69%. В районе г. Томска опять начинают преобладать илисто-песчаные грунты, способствующие оседанию токсикантов в районе города. Следовательно, на токсичность донных отложений большое влияние оказывает характер грунтов и скорость переноса загрязняющих компонентов, что формирует локальность их загрязнения.

## ВЫВОДЫ

1. Участок р. Томи от г. Новокузнецка до г. Кемерово в период пониженного потенциала самоочищения по биологическим и химическим показателям характеризуется: по уровню трофности как олиготрофно-мезотрофный, по индексу сапробности Пантиле и Букка как бета-мезосапробный, по шкале оценки уровня нефтяного загрязнения как умеренно-загрязненный и загрязненный.

2. Антропогенное загрязнение вниз по течению реки распространено неравномерно. По степени загрязнения р. Томи выделяются три наиболее загрязненных участка – ниже гг. Новокузнецка (с. Ерунаково), Кемерово (с. Мозжуха) и Томска соответственно.

3. На участке предполагаемого строительства Крапивинского водохранилища (от с. Усть-Нарык до с. Металлоплощадка) отмечены олиготрофные олигосапробные условия, умеренное загрязнение донных отложений нефтепродуктами и концентрация летучих фенолов в воде на уровне ПДК. Здесь идет процесс самоочищения реки, способ-

ствующий фактически полному восстановлению биоценозов и улучшению качества воды, что свидетельствует о ее способности справляться с дисбалансирующим действием г. Новокузнецка даже в период пониженного потенциала самоочищения.

Работа поддержана грантом РФФИ № 00–15–98542 и Интеграционным проектом СО РАН №33.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андраханова О.П., Баранник Л.П., Овденко В.И., Пушкин С.Г., Счастливец Е.Л.* О состоянии водных ресурсов бассейна реки Томи// Обской вестник. 1996. № 4. С. 5–19.
2. *Андреев В.Л.* Классификационные построения в экологии и систематике. М.: Наука, 1980. 142 с.
3. *Атавин А.А., Орлова Г.А., Савкин В.М.* Современная и перспективная водо-ресурсная ситуация на реке Томи и ее водосборном бассейне// Обской вестник. 1999. № 3–4. С. 62–68.
4. *Васильев О.Ф., Атавин А.А., Мальгин М.А., Савкин В.М.* Оценка водохозяйственной и экологической ситуации на Томи и ее водосборном бассейне// Обской вестник. 1996. № 4. С. 21–25.
5. Жизнь пресных вод СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940. Т. 1. 440 с.
6. *Зарубина Е.Ю., Кириллов В.В., Долматова Л.А., Кириллова Т.В., Ковешников М.И., Крылова Е.Н.* Биологическая оценка качества воды и донных отложений среднего течения р. Томи в период пониженного потенциала самоочищения// Современные проблемы гидробиологии Сибири: Тез. докл. науч.–практ. конф. Томск: ТГУ, 2001. С. 120–121.
7. *Каплин В.Т., Перельштейн Е.И., Фесенко Н.Г.* Роль донных отложений в процессе самоочищения водоемов от фенольных соединений// Гидрохимические материалы. Т. XLII. 1966. С. 208–218.
8. *Лукьянцева Е.А.* Состояние воды рек Томи и Ушайки в современный период // Современные проблемы гидробиологии Сибири: Тез. докл. науч.–практ. конф. Томск: ТГУ, 2001. С. 127–128.
9. Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети Госкомгидромета в рамках ОГСНК. Л., Гидрометеиздат, 1984. 40 с.
10. *Папина Т.С., Третьякова Е.И.* Гидрохимическое состояние и качество поверхностных вод бассейна Томи // Обской вестник. 1996. № 4. С. 27–36.
11. *Песенко Ю.А.* Принципы и методы количественного анализа в



- фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 387 с.
12. *Померанцева Д.П.* Зоопланктон как индикатор качества воды среднего течения Томи в зоне затопления Крапивинского водохранилища // Современные проблемы гидробиологии Сибири: Тез. докл. науч.-практ. конф. Томск: ТГУ, 2001. С. 133–134.
  13. Россия: водно-ресурсный потенциал. Екатеринбург: Изд-во «Аэрокосмоэкология», 1998. 342 с.
  14. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
  15. *Селезнева М.В.* Особенности видового состава и количественного развития зообентоса среднего течения реки Томи // Современные проблемы гидробиологии Сибири: Тез. докл. науч.-практ. конф. Томск: ТГУ, 2001. С. 72–74.
  16. *Оуэнс М.* Биогенные элементы, их источники и роль в речных экосистемах // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: Труды сов.-англ. семинара. Л.: Гидрометеиздат. 1977. С. 54–65.

## **ESTIMATION OF WATER QUALITY AND BOTTOM SEDIMENTS AT THE PERIOD OF THE LOW SELF-PURIFICATION POTENTIAL IN TOM RIVER**

It 2000–2001 at a period of autumn water and in spring on termination of freezing over period the investigations of water, bottom sediments and structural-functional features of biohydrocenoses in Tom river were carried out to assess the current state of its ecosystem under low self-purification potential. The level of water and bottom sediments contamination was established by volatile phenol and petroleum products. The levels of trophicity and saprobidity were assessed by the composition and abundance of phytoplankton (chlorophyll content), phytobentos, zooplankton, zoobenthos and aquatic vascular plants.

Estimation of water and bottom sediments toxicity was performed by means of biotesting method with *Photobacterium phosphoreum* as a test object. Three most polluted sites below Novokuznetsk, Kemerovo and Tomsk were detected on Tom river. The purest site situated nearby the planned construction of Krapivinsk reservoir was characterized by oligotrophic oligosaprobic conditions as well as low concentrations of petroleum products and phenols that is indicative of the river self-purification and its ability to cope well with unbalanced effect of Novokuznetsk city even in the period of low self-purification potential.

## **ВОДОРΟΣЛИ ОЗЕРА БЕЛОГО (ЯКУТИЯ)**

**А.П. Иванова, Л.И. Копырина**

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН  
677891, г. Якутск, пр. Ленина, 41, факс (8-4112) 445812,  
e-mail: a.p.ivanova@ibpc.ysn.ru

По данным многолетних наблюдений (60-х – 90-х годов XX в.) приведен флористический состав фитопланктона и эпифитона оз. Белого, расположенного в черте г. Якутска. Описаны ритмы развития численности и биомассы фитопланктона в условиях криолитозоны.

### **ВВЕДЕНИЕ**

При современных масштабах воздействия на природную среду качество воды естественных водоемов формируется не только в результате функционирования экосистем, но и за счет производственной деятельности человека. К сожалению, сохранить первозданное состояние озер при современных темпах развития городского хозяйства практически невозможно. Увеличение запасов минеральных и органических веществ в водоемах происходит под влиянием природных и антропогенных факторов. Все это находит отражение в изменении показателей биологических сообществ. В данной статье приведены результаты многолетних исследований состояния флоры водорослей пригородного озера.

### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Материалом для статьи послужили многолетние альгологические сборы планктона и эпифитона оз. Белого, расположенного на северо-западной окраине г. Якутска, полученные в 1963–1965, 1980–1985, 1990, 1991, 1994, 1996–1999 гг. Обработку проб проводили по общепринятым в альгологии методикам [4, 6–8] с использованием отечественных и зарубежных определителей.

Данные по химическому составу воды и морфометрические показатели озера получены в лаб. озероведения ЯГУ. Площадь озера составляет 0.65 км<sup>2</sup>, длина – 2.3 км, ширина – 1.12 км, глубина достигает 6.5 м. В течение лета температура воды колеблется от 9.2 до 14.4°C при максимуме в июле – августе 24°C. Вода по химическому составу относится к гидрокарбонатно-магниевой группе с pH 6.5–8.5 и содержанием растворенного кислорода до 20 мг/л. Ее основные гидрохимические характеристики превышают ПДК: цветность в 1.5 раза, общее

железо в 3, минеральный фосфор – в 13, ХПК – в 8.5–10.2 раз. Для озера известно 19 видов высших водных и околводных растений. Берега зарастают *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За весь период исследований в озере обнаружено 293 вида или 322 вида и разновидности водорослей из 8 отделов, 12 классов, 25 порядков, 69 семейств, 124 родов (табл. 1). В 60–80-е годы был выявлен 101 вид (109 видов и разновидностей) из 7 отделов водорослей, в 90-е–246 (269) из 8: из них 189 (201) в планктоне 105 (115) в обрастаниях на высших водных и околводных растениях.

**Таблица 1.** Многолетние изменения числа таксонов водорослей оз. Белого (1 – классы, 2 – порядки, 3 – семейства, 4 – роды, 5 – виды, 6 – виды и разновидности).

Отдел водорослей	60-80-е годы						90-е годы*						Всего		
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	4	5	6
Cyanophyta	2	3	9	10	20	25	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>11</u>	<u>17</u>	<u>33</u>	<u>39</u>	21	54	66
Euglenophyta	1	1	1	3	8	10	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>5</u>	<u>10</u>	<u>10</u>	5	17	21
Dinophyta	1	1	1	1	2	2	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	2	3	3
Cryptophyta	-	-	-	-	-	-	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	1	1	1
Chrysophyta	1	1	1	1	1	1	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>6</u>	<u>9</u>	<u>9</u>	8	12	12
Bacillariophyta	2	4	8	8	15	16	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>9</u>	<u>14</u>	<u>27</u>	<u>30</u>	19	38	45
Xanthophyta	2	2	3	5	10	10	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>6</u>	<u>10</u>	<u>15</u>	<u>15</u>	14	36	36
Chlorophyta	2	6	17	25	45	45	<u>2</u>	<u>7</u>	<u>22</u>	<u>38</u>	<u>93</u>	<u>96</u>	54	132	138
Всего	11	18	40	53	101	109	<u>12</u>	<u>22</u>	<u>56</u>	<u>92</u>	189	201	124	293	322

\* – над чертой фитопланктон, под чертой эпифитон.

В 60-е годы 57 видов и разновидностей водорослей планктона распределялись по отделам следующим образом: Chlorophyta – 24, Bacillariophyta – 15, Cyanophyta – 12, Euglenophyta – 5, Dinophyta – 1. В 1964 г. средняя численность фитопланктона в период открытой воды составляла 179.5 млн. кл./л, биомасса – 22.5 мг/л [1, 2]. В первых чис-

лах июня при температуре воды 9°C доминировала *Cyclotella comta* (Ehr.) Kütz. (6.5 млн. кл./л). В небольшом количестве встречались *Dactylococcopsis irregularis* G.M. Smith, *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Bréb., *Oscillatoria planctonica* Wolosz., *Euglena limnophila* var. *swirenkoi* (Arnoldi) Popova, *Nitzschia acicularis* W. Sm. Численность фитопланктона составила 12.6 млн. кл./л, биомасса 20.0 мг/л. В конце месяца было обнаружено уже 25 видов водорослей (28.2 млн. кл./л), среди которых доминировал (80% от общей численности) и вызывал «цветение» воды *Microcystis aeruginosa* f. *flos-aquae* (Witttr.) Elenk. с примесью *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Bréb. и *Gomphosphaeria lacustris* f. *compacta* (Lemm.) Elenk. Однако биомасса этих видов синезеленых водорослей (3.1 мг/л) была ниже по сравнению с протококковыми (4.7 мг/л). Нарастание обилия *Microcystis* и *Anabaena* в сопровождении *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs продолжалось весь июль. Их массовое развитие, достигшее 66.5 млн. кл./л при общей численности 68 млн. кл./л и биомассе 28.2 мг/л, вызвало интенсивное «цветение» водоема. В первой половине августа численность синезеленых достигла 70.5 млн. кл./л, одновременно увеличилось и число протококковых до 16 млн. кл./л. С понижением температуры в сентябре численность синезеленых снизилась, на недолгое время появились в заметном числе *Pandorina morum* (Müll.) Bory, *Cyclotella comta*, *C. meneghiniana* Kütz., *C. operculata* (Ag.) Kütz.

В 90-е годы в составе фитопланктона обнаружено 188 видов или 201 вид и разновидность из 93 родов, 54 семейств, 22 порядков, 12 классов и 8 отделов. Ведущая роль принадлежит Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta (табл. 1). Среди выявленных видов преобладают планктонные (152 вида и разновидности или 76% от общего числа видов), число обрастателей (6%), бентосных (1.5%), а также обитающих в планктоне, бентосе и на субстрате (13%) невелико. По отношению к солености воды индифференты составляют 34%, галофилы – 9%, галофобы – 3.5%.

В июне 1991 г. при среднемесячной температуре воды 18.2°C численность фитопланктона составила 1919.8 тыс. кл./л, а биомасса 2.7 мг/л. Преобладали синезеленые водоросли (1913.8 тыс. кл./л и 2.6 мг/л) за счет разновидностей *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk (1895.5 тыс. кл./л и 2.568 мг/л). Численность и биомасса зеленых (5.5 тыс. кл./л и 0.12 мг/л) и диатомовых (0.5 тыс. кл./л и 0.001 мг/л) была незначительной. Довольно высокие показатели этого года связаны с интенсивным «цветением» воды в конце предыдущего 1990 г., когда средняя численность составила 24.6 млн. кл./л при биомассе 8.6 мг/л [3]. В июле при колебаниях температуры от 18.6° до 22.8°C,

среднемесячная численность (521.9 тыс. кл./л) уменьшилась в 3.7 раза по сравнению с июнем, а биомасса – в 6.3 раза (0.43 мг/л). Доминировали синезеленые водоросли (450.1 тыс. кл./л; 0.1 мг/л), возросли показатели диатомовых (42.9 тыс. кл./л и 0.03 мг/л) и зеленых (24.7 тыс. кл./л; 0.30 мг/л), появились желтозеленые (4.2 тыс. кл./л; 0.0004 мг/л). В августе при температуре 18.2–23.2°C среднемесячная численность фитопланктона составляла 176.6 тыс. кл./л при биомассе 0.08 мг/л. Основной фон, как и ранее создавали синезеленые, роль зеленых, диатомовых, желтозеленых и эвгленовых была незначительной.

В мае 1996 г., когда озеро было почти полностью покрыто льдом, при температуре воды 4.2°C численность фитопланктона составила 10.8 тыс. кл./л, а биомасса – 0.02 мг/л. Основное обилие (5.9 тыс. кл./л; 0.01 мг/л) создавали синезеленые водоросли; зеленые (2.5 тыс. кл./л и 0.01 мг/л), диатомовые (2.2 тыс. кл./л и 0.002 мг/л), эвгленовые (0.1 тыс. кл./л и 0.001 мг/л) и золотистые (0.1 тыс. кл./л и 0.0001 мг/л) были в меньшем количестве. В июне при среднемесячной температуре воды 18.1°C общая численность и биомасса возросли до 39.8 тыс. кл./л и 0.063 мг/л. Число клеток синезеленых водорослей увеличилось в 2.5 раза (15.0 тыс. кл./л и 0.001 мг/л), зеленых – в 9.2 раза (23.1 тыс. кл./л и 0.06 мг/л), роль диатомовых уменьшилась (1.4 тыс. кл./л; 0.001 мг/л), а обилие желтозеленых было низким. В июле при колебаниях температуры от 17° до 25°C среднемесячная численность увеличилась в 14.7 раза и составила 584.1 тыс. кл./л, а биомасса – в 2.7 раза (0.17 мг/л). Основную массу, как и ранее, создали синезеленые (407.4 тыс. кл./л и 0.01 мг/л), численность которых возросла в 27 раз, развитие получили виды родов *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Anabaena*. На втором месте были зеленые (145.3 тыс. кл./л и 0.10 мг/л), затем желтозеленые (14.2 тыс. кл./л и 0.004 мг/л), диатомовые (11.4 тыс. кл./л и 0.02 мг/л), эвгленовые (2.5 тыс. кл./л и 0.01 мг/л), динофитовые и криптофитовые (3.3 тыс. кл./л и 0.03 мг/л). В августе при колебаниях температуры от 12°C до 17.8°C среднемесячная численность фитопланктона возросла в 5.5 раза (до 3341.5 тыс. кл./л), биомасса – в 1.5 раза (0.26 мг/л). Доминирующее положение сохраняли синезеленые (2971.6 тыс. кл./л и 0.1 мг/л) при высокой доли участия зеленых (253.7 тыс. кл./л и 0.12 мг/л) и диатомовых (17.0 тыс. кл./л и 0.01 мг/л). Уменьшились численность и биомасса желтозеленых (12.5 тыс. кл./л и 0.004 мг/л) и эвгленовых (1.1 тыс. кл./л; 0.003 мг/л), отмечено небольшое количество золотистых (1.8 тыс. кл./л и 0.002 мг/л). В сентябре (среднемесячная температура 7.2°C) общая численность фитопланктона снизилась до 715 тыс. кл./л при биомассе 0.23 мг/л, и произошла смена доминантов. Наибольшие показатели отмечены для зеленых (506.7 тыс. кл./л и 0.13 мг/л), более

низкие – для синезеленых (195.2 тыс. кл./л и 0.012 мг/л), диатомовых (11.6 тыс. кл./л и 0.085 мг/л) и желтозеленых (1.7 тыс. кл./л и 0.001 мг/л) водорослей.

Если средняя за период наблюдения численность фитопланктона в 1991 г. составляла 872.8 тыс. кл./л при биомассе 1.08 мг/л, то в 1996 г. первая незначительно увеличилась (до 922.1 тыс. кл./л), а вторая стала существенно ниже (0.17 мг/л). В начале 90-х пик развития фитопланктона приходился на июнь при доминировании по численности и биомассе форм вида *Microcystis aeruginosa*. В 1996 г. синезеленые (719.0 тыс. кл./л и 0.03 мг/л), зеленые (182.7 тыс. кл./л и 0.08 мг/л) и диатомовые (8.7 тыс. кл./л и 0.02 мг/л) отмечались на протяжении всего сезона, пик их развития с «цветением» воды синезелеными проходил на август.

В составе эпифитона найдено 105 видов или 115 видов и разновидностей водорослей, принадлежащих к 62 родам, 43 семействам, 17 порядкам, 9 классам и 6 отделам. Преобладали Chlorophyta – 46 видов и разновидностей, Xanthophyta – 22, Cyanophyta – 21, Bacillariophyta – 20. На долю десяти ведущих семейств приходится 56 видов (53%) и 40 родов (38%). Первые ранговые места занимают семейства Characiopsidaceae, Ulotrichaceae, Oscillatoriaceae и роды *Characiopsis*, *Oscillatoria*, *Uronema*, *Spirogyra*.

По отношению к местообитанию преобладали эпифитные (59 видов или 48%) и эвритопные – 48 (38%) водоросли. Кроме них обнаружено 5 видов планктонных (4%) и 13 мало изученных водорослей (10%). По отношению к концентрации солей в воде преобладали олигогалобы – 40 видов (38%), среди которых индифференты составляли 31 вид (27%), галофилы – 7 (6%), галофобы – 2 (2%), мезогалобы – 1 вид. Высокой оказалась доля мало изученных видов – 74 (64%).

**Таблица 2.** Количество видов водорослей (n) в эпифитоне оз. Белого.

Виды макрофитов	n	Виды макрофитов	n
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	41	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud	38
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	38	<i>Ranunculus sceleratus</i> L.	6
<i>P. perfoliatus</i> L.	1	<i>Lemna trisulca</i> L.	30
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	4		

Обрастания были изучены на 7 видах гидрофитов (табл. 2). На гидатофитах обнаружено 78 видов водорослей, относящихся к 6 отделам (Chlorophyta – 30, Cyanophyta и Bacillariophyta – по 18, Xantho-

phyta – 7, Chrysophyta – 4, Euglenophyta – 1); на гелофитах – 41 вид из 5 отделов (Chlorophyta – 18, Cyanophyta – 9, Bacillariophyta – 7, Xanthophyta – 5, Euglenophyta – 2), на плейстофите *Lemna trisulca* – из 4 отделов (Chlorophyta – 16, Xanthophyta – 7, Bacillariophyta – 4, Cyanophyta – 3). Высокая степень сходства эпифитных водорослей отмечены для гелофита *Phragmites australis* с гидатофитами *Ceratophyllum demersum* (48%) и *Potamogeton pectinatus* (30%), а также между гидатофитами *Potamogeton pectinatus* и *Ceratophyllum demersum* (35%). На эпифитных водорослях I порядка обнаружено 20 видов II порядка из 4 отделов: Xanthophyta – 11, Chlorophyta – 5, Bacillariophyta и Cyanophyta – по 2 вида. Коэффициенты специфичности фитопланктона (77%) и эпифитов (69%) высоки, коэффициент общности по Жаккару гораздо ниже – 27% (табл. 3).

**Таблица 3.** Коэффициенты общности и специфичности (%) фитопланктона и эпифитона оз. Белого.

Отделы	Коэффициент специфичности		Количество общих видов	Коэффициент общности
	фитопланктона	эпифитона		
Cyanophyta	87	76	5	11
Euglenophyta	90	50	1	11
Dinophyta	100	0	0	0
Cryptophyta	100	0	0	0
Chrysophyta	89	75	1	10
Bacillariophyta	61	45	11	65
Xanthophyta	60	73	6	32
Chlorophyta	77	52	22	29
Общий	77	69	46	27

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сравнении современной флоры водорослей оз. Белого с данными 60-х годов видно, что по числу видов, как и ранее, преобладают зеленые (41 и 44% от общего числа видов), далее следуют сине-зеленые (23 и 20%), диатомовые (14 и 14%), желтозеленые (9 и 12%). Коэффициент специфичности флоры 60-х годов по сравнению с 90-ми составил 49%, а 90-х с 60-ми – 79%. Коэффициент общности по Жаккару составил 27%. За 30 лет произошли изменения видового состава: не найдено 53 таксона, но обнаружено 213 новых; число общих таксонов – 56. Видовое разнообразие фитопланктона в 60-х годах было более низким, в озере отмечалось интенсивное «цветение» воды синезе-

леными водорослями. В 1990-х годах их количество уменьшилось. Существенно ниже, по сравнению с 60-ми годами, стало общее обилие фитопланктона. По шкале трофности [9] водоем в 1964 г. характеризовался как высокоэвтрофный, в 1991 г. – мезотрофный, а в 1996 г. – олиготрофный. «Цветение» воды [5] в 1964 г. было интенсивным, в 1991 г. умеренным, в 1996 г. слабым. Индекс сапробности составил 2.0 ( $\beta$ -мезосапробная), что дает основание отнести воду озера к 3-ему классу чистоты. По шкале эколого-санитарной классификации качества поверхностных вод суши вода определяется как «удовлетворительно чистая» с разрядом «достаточно чистая», однако по содержания фосфора она оценивается как «загрязненная» с разрядом «умеренно загрязненная». В последние годы берега озера зарастают макрофитами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильева И.И.* Фотосинтез и вертикальное распределение фитопланктона некоторых озер окрестностей г. Якутска // Изв. Сиб. отд. АН СССР, серия биол.-мед. наук. 1966. № 4, Вып. I. С. 28–32
2. *Васильева И.И.* Сезонная динамика фитопланктона озер пригорода Якутска // Вопросы науки в трудах молодых ученых Якутии. Якутск: Якутское книжное изд-во, 1971. С. 334–339
3. *Васильева-Кралина И.И., Иванова А.П., Пшенникова Е.В.* Состав и динамика развития водорослей озер г. Якутска и его окрестностей (среднее течение р. Лены) // Альгология. 1997. Т. 7, № 1. С. 30–34
4. *Голлербах М.М., Полянский В.И.* Пресноводные водоросли и их изучение. М.: Сов. наука, 1951. 178 с.
5. *Зенин А.А., Белоусова Н.В.* Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 240 с.
6. *Киселев И.А.* Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука, 1969. Т. 1. 658 с.
7. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Фитопланктон и его продукция. Л., 1981. 32 с.
8. *Федоров В.Д.* О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: Изд-во МГУ, 1979. 166 с.
9. *Трифорова И.С.* Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка. Л.: Наука, 1979. 168 с.



## **THE ALGAE OF LAKE BELOE (YAKUTIA)**

**A.P. Ivanova, L.I. Kopyrina**

Institute of Biological Problems of Cryolithozone Siberian Branch of RAS

The paper considers the description of the floristic composition of phytoplankton and epiphyton, the rhythms of the number development and phytoplankton biomass of the lake in the non-frost water period under the permafrost conditions.

**ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОРСКИХ  
ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ *THALASSIOSIRA  
WEISSFLOGII* (BACILLARIOPHYTA) И *TETRASELMI  
VIRIDIS* (PRASINOPHYTA) ПРИ АССИМИЛЯЦИИ  
МОЧЕВИНЫ И НИТРАТОВ В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ ОСВЕЩЕННОСТИ**

**М.Е. Ильяшенко, А.Ю. Уланова, Т.А. Белевич**

Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

119992, Москва, Воробьевы горы, 12

E-mail: arctos@online.ru

Скорость фотосинтетической фиксации углерода и фотосинтетического выделения кислорода, а также квантовую эффективность работы реакционных центров ФС II оценивали через 1–3 суток после внесения мочевины и нитратов в различных концентрациях в азот лимитированные культуры водорослей *Tetraselmis viridis* и *Thalassiosira weissflogii*, растущие при двух уровнях освещенности. При ассимиляции мочевины скорости световых и темновых реакций фотосинтеза, а также квантовая эффективность возрастали до величин, либо незначительно уступающим (при освещенности 100 мкЕ/(м<sup>2</sup>·с), либо даже превышающим (при освещенности 25 мкЕ/(м<sup>2</sup>·с) таковые при потреблении нитратов. Выявлена видоспецифичная зависимость скорости фотосинтетической фиксации углерода от концентрации мочевины в среде и уровня освещенности.

## ВВЕДЕНИЕ

В большинстве районов Мирового океана первичная продукция ограничена недостатком азота [6, 4]. Азотное лимитирование ведет к подавлению синтеза белков на уровне трансляции, что обуславливает снижение интенсивности и эффективности световых реакций фотосинтеза [10], уменьшение скорости фотосинтетической фиксации углерода и популяционного роста водорослей [8]. В условиях дефицита минерального азота возрастает значимость ассимиляции планктонными водорослями органических субстратов, содержащих азот и, в частности, мочевины. Скорость потребления мочевины зависит от обеспеченности клеток азотом и уровня освещенности [12].

Известно, что азот мочевины составляет существенную долю в суммарном количестве азота, ассимилируемого фитопланктоном в морских водах [13]. Однако динамика ассимиляционной активности водорослей при использовании мочевины в качестве единственного источника азота до настоящего времени не исследована. Цель настоя-

щей работы – сравнительный анализ фотосинтетической активности исходно лимитированных по азоту морских водорослей *Tetraselmis viridis* и *Thalassiosira weissflogii* при ассимиляции мочевины и нитратов в зависимости от уровня освещенности.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для работы послужили альгологически чистые культуры морской водоросли *Tetraselmis viridis* (Rouch.) Morris (Prasinophyta) и эвригалинной водоросли *Thalassiosira weissflogii* (Grunov) G. Fryxell et. Hasle (Bacillariophyta).

Водоросли культивировали при освещенности 100 ( $I_1$ ) и 25 мкЕ/(м<sup>2</sup>·с) ( $I_2$ ), продолжительности светового периода 14 ч в сутки и температуре 20±1°C. Культуральные среды готовили на основе морской воды из глубоководной скважины (г. Москва), разведенной до солености 18‰ и трехкратно пастеризованной.

В экспериментах использовали азот лимитированные культуры, которые получали выдерживанием водорослей в течение 2–3 недель на безазотистой среде при указанных уровнях освещенности. Для приготовления среды в воду вносили все добавки согласно прописи f/2, за исключением азота [7]. За этот период квантовая эффективность работы реакционных центров фотосистемы II (РЦ ФС II)  $F_v/F_m$  снижалась до значений ≤0.2. При такой квантовой эффективности скорость популяционного роста была мала или равнялась нулю. Низкие величины  $F_v/F_m$  свидетельствуют о высокой степени клеточного дефицита азота [10].

За 2 суток до проведения экспериментов в культуры вносили смесь пенициллина (19 мг/л) и стрептомицина (30 мг/л) для подавления развития сопутствующей микрофлоры [11]. Рост и фотосинтетическая активность водорослей при этом не отличается от таковых в отсутствие антибиотиков.

Азот лимитированные культуры каждого вида делили на 7 подпроб, в 6 из которых вносили добавки мочевины или нитратов в концентрациях 0.89, 0.35 и 0.18 ммоль азота, что соответствует содержанию этого элемента в средах f/2, f/5 и f/10. В 7-ю, контрольную, добавки не вносили. После 24, 48 и 72 ч роста во всех вариантах определяли скорость фотосинтетической фиксации углерода и фотосинтетического выделения кислорода, а также квантовую эффективность работы РЦ ФС II. У водорослей, росших при освещенности  $I_1$ , фотосинтетическую активность оценивали только через 24 ч после внесения добавок.

Численность водорослей определяли прямым счетом в камере Горяева, объемы клеток оценивали методом геометрического подобия на основе промеров их линейных размеров. Для перевода биомассы

(В) в единицы углерода клеточное содержание органического углерода в зависимости от объема клеток рассчитывали по уравнениям Стратмана [14].

Квантовую эффективность работы РЦ ФС II оценивали по относительному вкладу переменной флуоресценции  $F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$ . Интенсивность флуоресценции измеряли с помощью однолучевого флуориметра [2] при освещении водорослей слабым светом ( $F_o$ ) и в присутствии  $10^{-4}$  моль диуона ( $F_m$ ).

Скорость фотосинтетической фиксации углерода (Р) определяли скляночным методом в радиоуглеродной модификации при 4-х часовой экспозиции. Для каждой добавки определение Р проводили в 3 повторностях. Скорость фотосинтетического выделения кислорода (Е) оценивали скляночным методом при 4-х часовой экспозиции. Определение концентрации растворенного кислорода проводили полярографическим методом [1].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Азот лимитированные водоросли *Thalassiosira weissflogii* и *Tetraselmis viridis* характеризовались низкими значениями удельной скорости фотосинтетической фиксации углерода (Р/В) и фотосинтетического выделения кислорода (Е/В) (табл. 1). С увеличением освещенности показатели Р/В и Е/В у первого вида возрастали, а у второго снижались. У обоих видов водорослей уже через сутки после внесения добавок азота наблюдалось изменение Р/В (табл. 2), Е/В и  $F_v/F_m$  (табл. 3) относительно контроля.

**Таблица 1.** Удельная (на единицу биомассы) скорость фотосинтетической фиксации углерода (Р/В) и фотосинтетического выделения кислорода (Е/В) у азот лимитированных водорослей при различной освещенности.

Показатели	<i>Tetraselmis viridis</i>		<i>Thalassiosira weissflogii</i>	
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>
Р/В·10 <sup>-2</sup> ·ч <sup>-1</sup>	1.48	0.09	0.95	2.03
Е/В·10 <sup>-2</sup> , О <sub>2</sub> /(мг С·ч)	1.47	0.81	1.07	9.00

*Примечание.* Здесь и в табл. 2, 3: I<sub>1</sub> – 25 мкЕ/(м<sup>2</sup>·с), I<sub>2</sub> – 100 мкЕ/(м<sup>2</sup>·с).

При освещенности 25 мкЕ/(м<sup>2</sup>·с) у обоих видов более высокие значения Р/В, Е/В и  $F_v/F_m$  отмечены при использовании мочевины по сравнению с таковыми при потреблении нитратов. Через 3 суток у

*Thalassiosira weissflogii* показатель P/B был выше при большей концентрации мочевины, тогда как у *Tetraselmis viridis* он снижался при увеличении содержания мочевины в среде. У *Thalassiosira weissflogii* при концентрации нитратного азота 0.89 ммоль наблюдали снижение P/B относительно контроля на 1-е и 2-е сутки роста. Соответственно, через 3 суток наибольшие значения P/B отмечены у водорослей, росших при наименьшем начальном содержании нитратов в среде. У *Tetraselmis viridis* добавки нитратов не оказывали ингибирующего эффекта на P/B. Однако, как и первого вида, через 3 суток наибольшие значения P/B отмечены в варианте с наименьшим начальным содержанием нитратов.

**Таблица 2.** Удельная (на единицу биомассы) скорость фотосинтетической фиксации углерода ( $P/B \cdot 10^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ ) водорослями при различных концентрациях добавок и освещенности.

Освещенность	Время экспозиции, сут	Нитраты			Мочевина			Контроль
		1	2	3	1	2	3	
<i>Tetraselmis viridis</i>								
I <sub>1</sub>	1	1.5	1.3	1.7	1.2	1.1	0.9	0.1
I <sub>2</sub>	1	2.4	3.0	3.7	2.9	2.6	4.6	0.5
	2	7.0	6.9	4.3	6.6	8.4	9.0	1.7
	3	7.0	6.0	4.2	10.6	6.7	8.5	2.8
<i>Thalassiosira weissflogii</i>								
I <sub>1</sub>	1	4.2	5.0	4.8	5.0	4.3	3.4	2.8
I <sub>2</sub>	1	0.5	0.5	0.	5.7	3.6	6.3	0.3
	2	1.7	1.4	0.5	1.7	10.0	14.7	0.8
	3	4.8	2.9	1.2	4.8	14.4	39.8	1.4

*Примечание.* Здесь и в табл. 3: 1, 2, 3 – 0.18, 0.35 и 0.89 ммоль азота.

При освещенности 100 мк Е/(м<sup>2</sup>·с) у обоих видов значения P/B и Е/В были выше при использовании нитратов за исключением варианта выращивания *Thalassiosira weissflogii* при самой низкой концентрации добавок. У обоих водорослей с увеличением концентрации мочевины величины P/B и Е/В снижались, тогда как при увеличении концентрации нитратного азота P/B и Е/В увеличивались. Параметр F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> независимо от добавки и ее концентрации характеризовался близкими значениями.

Увеличение скорости световых и темновых реакций фотосинтеза, а также эффективности работы РЦ ФС II после внесения в азот ли-

митированные культуры добавок мочевины свидетельствует о том, что оба вида водорослей ассимилируют этот субстрат, и за счет азота мочевины у них идет восстановление фотосинтетического аппарата. При этом показатели Р/В и Е/В при ассимиляции мочевины возрастают до величин, незначительно уступающих, либо даже превышающих таковые при потреблении нитратов. Соотношение интенсивности реакций фотосинтеза при росте с минеральным и органическим источниками азота зависит от уровня освещенности, т.е. от обеспеченности клеток энергией.

**Таблица 3.** Удельная (на единицу биомассы) скорость фотосинтетического выделения кислорода ( $E/B \cdot 10^{-3}$ , мг  $O_2/(мг \text{ C} \cdot ч)$ ) и квантовая эффективность РЦ ФС II ( $F_v/F_m$ ) у водорослей через сутки после внесения добавок при освещенности  $I_1$  (над чертой) и  $I_2$  (под чертой).

Показатели	Нитраты			Мочевина			Контроль
	1	2	3	1	2	3	
<i>Tetraselmis viridis</i>							
E/B	$\frac{20}{20}$	$\frac{37}{37}$	$\frac{63}{25}$	$\frac{22}{22}$	$\frac{44}{44}$	$\frac{50}{30}$	$\frac{11}{3}$
F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	$\frac{0.65}{0.55}$	$\frac{0.64}{0.76}$	$\frac{0.62}{0.56}$	$\frac{0.59}{0.64}$	$\frac{0.60}{0.59}$	$\frac{0.59}{0.78}$	$\frac{0.24}{0.27}$
<i>Thalassiosira weissflogii</i>							
E/B	$\frac{110}{12}$	$\frac{120}{7}$	$\frac{150}{10}$	$\frac{210}{51}$	$\frac{120}{20}$	$\frac{90}{18}$	$\frac{100}{9}$
F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	$\frac{0.51}{0.13}$	$\frac{0.52}{0.04}$	$\frac{0.51}{0.10}$	$\frac{0.48}{0.42}$	$\frac{0.51}{0.25}$	$\frac{0.47}{0.29}$	$\frac{0.20}{0.17}$

*Примечание.* Прочерк – измерения не проводили.

В условиях низкой освещенности при дефиците светогенерированной энергии величины Р/В и Е/В при ассимиляции мочевины возрастают в большей степени, чем при потреблении нитратов. Последнее обусловлено тем, что у водорослей, испытывающих дефицит азота, во время ассимиляции нитратов процессы фотосинтетической фиксации углерода лимитированы недостатком светогенерированных АТФ и восстановителя, используемых преимущественно на восстановление нитратов [9]. При ассимиляции более восстановленного азота мочевины продукты световых реакций фотосинтеза могут быть преимущественно направлены на обеспечение потребностей цикла Кальвина-Бенсона. В условиях более высокой освещенности, когда водоросли не испытывают дефицит светогенерированной энергии и, соответственно,

нет энергетического лимитирования темновых реакций фотосинтеза, величины Р/В при ассимиляции мочевины незначительно ниже, чем при потреблении нитратов. При этом скорость популяционного роста выше у водорослей, использующих мочевины в качестве источника азота. Последнее косвенно свидетельствует о том, что водоросли обоих видов используют в анаболизме не только азот, но и углерод мочевины.

Водоросли проявляли видоспецифичную зависимость Р/В от концентрации мочевины в среде. Так, при низкой освещенности на 3-и сутки роста у *Thalassiosira weissflogii* значения Р/В были выше при большей концентрации добавок мочевины, а у *Tetraselmis viridis* они снижались. Такое видоспецифичное различие может быть обусловлено либо накоплением внутриклеточного пула мочевины у *Tetraselmis viridis* (у *Thalassiosira weissflogii* мочевина сразу ассимилируется на рост [5]), либо различной природой фермента уреазы, катализирующей внутриклеточную трансформацию мочевины. Известно, что у *Thalassiosira weissflogii* уреазы является конститутивным ферментом [3], тогда как у *Tetraselmis viridis*, возможно, индуцибельным. На синтез индуцибельного фермента расходуется часть клеточной энергии, что снижает ее количество, доступное для использования в цикле Кальвина. В условиях более высокой освещенности, когда водоросли не испытывают дефицит светогенерированной энергии, у обоих видов величины Р/В снижались с увеличением концентрации мочевины в среде. Последнее согласуется с высказанным выше предположением о включении в клеточный анаболизм углерода мочевины.

## ВЫВОДЫ

Водоросли *Thalassiosira weissflogii* и *Tetraselmis viridis*, испытывающие клеточный дефицит азота, при доступности мочевины ассимилируют этот субстрат. За счет азота мочевины скорости световых и темновых реакций фотосинтеза, а также эффективность работы РЦ ФС II возрастают до величин, незначительно уступающих, либо даже превышающих таковые при потреблении нитратов. Соотношение интенсивности реакций фотосинтеза при росте на минеральном и органическом источниках азота зависит от уровня освещенности. Водоросли проявляют видоспецифичную зависимость скорости фотосинтетической фиксации углерода от концентрации мочевины в среде. Снижение фиксации углерода при увеличении концентрации мочевины в среде у водорослей, не испытывающих дефицит светогенерированной энергии, косвенно свидетельствует о включении углерода мочевины в клеточный анаболизм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленский М.И. Полярнографическое определение кислорода в исследованиях по фотосинтезу и дыханию. Л.: Наука, 1986. 140 с.
2. Маторин Д.Н., Васильев И.П., Ведерников В.И. Исследование фототингибирования первичных реакций фотосинтеза у природных популяций фитопланктона Черного моря // Физиол. раст. 1992. Т. 39. № 3. С. 455–463.
3. Antia N.J., Berland B.R., Bonin D.J., Maestrini S.Y. Effects of urea concentration in supporting growth of certain marine microplanktonic algae // Phycologia. 1977. Vol. 16. P. 105–111.
4. Barber R.T. Geological and climatic time scales of nutrient availability // Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. N.Y.: Plenum, 1992. P.89–106.
5. Conover S.A.M. Partitioning of nitrogen and carbon in cultures of marine diatom *Thalassiosira fluviatilis* supplied with nitrate, ammonium or urea // Marine Biology. 1975. Vol. 32. P. 231–246.
6. Glibert P.M. Primary productivity and pelagic nitrogen cycling // Nitrogen cycling in coastal marine environments. N.Y.: Wiley, 1988. P. 3–31.
7. Guillard R.R.L., Ryther J.H. Studies on marine diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. // Can. J. Microbiol. 1962. № 8. P. 229–239.
8. Herzig R., Falkowski P.G. Nitrogen limitation of *Isochrysis galbana*. I. Photosynthetic energy conversion and growth efficiencies // J. Phycology. 1989. Vol. 25. P. 462–471.
9. Huppe H.C., Turpin D.H. Integration of carbon and nitrogen metabolism in plant and algal cells // Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 1994. Vol. 45. P. 577–607.
10. Kolber Z., Zehr J., Falkowski P.G. Effects of growth irradiance and nitrogen limitation on photosynthetic energy conversion in Photosystem II // Plant Physiol. 1988. Vol. 88. P. 923–929.
11. Lewitus A.J., Kana T.M. Responses of estuarine phytoplankton to exogenous glucose: stimulation versus inhibition of photosynthesis and respiration // Limnol. Oceanogr. 1994. Vol. 39. P. 182–189.
12. Rees T.A.V., Syrett P.J. Mechanisms for urea uptake by the diatom *Phaeodactylum tricornutum*: the uptake of thiourea // New Phytologist. 1979. Vol. 83. P. 37–48.
13. Sahlsten E., Sörensen F., Pettersson K. Planktonic nitrogen uptake in the south-eastern Kattegat // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1988. Vol. 121. P.



227–246.

14. *Strathman R.R.* Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume // *Limnol. Oceanogr.* 1967. Vol. 12. № 3. P. 411–418.

**PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF THE MARINE PLANKTON  
ALGAE *TETRASELMIS VIRIDIS* (PRASINOPHYTA) AND  
*THALASSIOSIRA WEISSFLOGII* (BACILLARIOPHYTA)  
IN RELATION TO THE NITROGEN SOURCES  
AND IRRADIANCE**

**M.E. Il'yashenko, A.Yu. Ulanova, T.A. Belevich**

Moscow State University, Biological Faculty. Department of Hydrobiology

Photosynthetic carbon fixation, photosynthetic oxygen evolution and photochemical quantum yield were estimated on *Tetraselmis viridis* and *Thalassiosira weissflogii* during 3 days after addition of different concentration of nitrate and urea to nitrogen-limited cultures grown under two levels of irradiance. Algae assimilated urea had slightly lower values (irradiance  $25 \mu\text{m E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  or the higher values (irradiance  $100 \mu\text{m E}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  of the rate of light and dark photosynthesis reaction than those on algae assimilated nitrate. Species-specific relationship between the rate of photosynthetic carbon fixation and urea concentration was revealed.

## **БИОИНДИКАЦИЯ ФЕНОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД**

**Е.А. Каретникова**

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,

г. Хабаровск, 680000, ул. Ким-Ю-Чена, 65

E-mail: micro@ivep.as.khb.ru

### **ВВЕДЕНИЕ**

Фенольные соединения (ФС) относятся к числу наиболее распространенных поллютантов водных экосистем. В водоемы поступают фенолы различного происхождения: компоненты промышленных сточных вод; соединения, образующиеся в ходе процессов вторичного загрязнения; биогенные фенолы, образуемые гидробионтами (Кондратьева, 2000). Токсический эффект фенолов проявляется на клеточном (нарушение дыхания, пигментогенеза, биосинтеза белков; барьерных функций мембран) и на организменном (подавление роста и размножения у водорослей, нарушение рефлекса равновесия, дыхания, потеря двигательной активности у рыб и т. д.) уровнях. Некоторые из них (пирокатехин, гидрохинон и др.) являются предшественниками еще более токсичных хинонов.

При мониторинге фенольного загрязнения поверхностных вод основное внимание уделяется группе летучих с паром фенолов (как более токсичных). Широко применяемые фотометрические методики, не дают сведений о качественном составе токсикантов (Фомин, 1995) и следовательно не позволяют определить их истинную токсичность. Хроматографические методы анализа, позволяющие устранить эти недостатки, требуют дорогостоящего приборного оснащения, что экономически нецелесообразно при проведении постоянного мониторинга качества поверхностных вод. В качестве перспективного метода биоиндикации можно назвать микробиологический метод, который используется при изучении состояния водных экосистем с середины 70-х гг. (Столбунов, 1976; Дрюккер, Петрова, 1988; Дмитриева, 1995; Дзюбан, 2001; Кондратьева, 1997; Кондратьева и др., 1998; Микроорганизмы..., 2000).

### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ**

Пробы воды для микробиологических анализов отбирали на различных участках экосистемы р. Амур. Фенолрезистентных бактерий выделяли на минеральной среде (Мф) следующего состава (г/л):  $\text{KNO}_3$ -1;  $\text{MgSO}_4$ -0.2;  $\text{NaCl}$ -1;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ -1; фенол-1.

Микроорганизмов-деструкторов фенола выделяли методом на-

копительных культур. Изучение фенолразрушающей активности чистых культур бактерий проводили в периодической культуре. Для изучения влияния абиотических факторов на деструкцию фенола осуществляли культивирование в различных условиях: 24°C и 10°C; 0, 3, 5, 10% морской соли; на качалках (130 об/мин.), в стационарных условиях; в присутствии косубстратов (пептон, глюкоза (0.01; 0.1%) и аминокислоты из расчета L-рацематы 50 мг/л, DL-рацематы 100 мг/л).

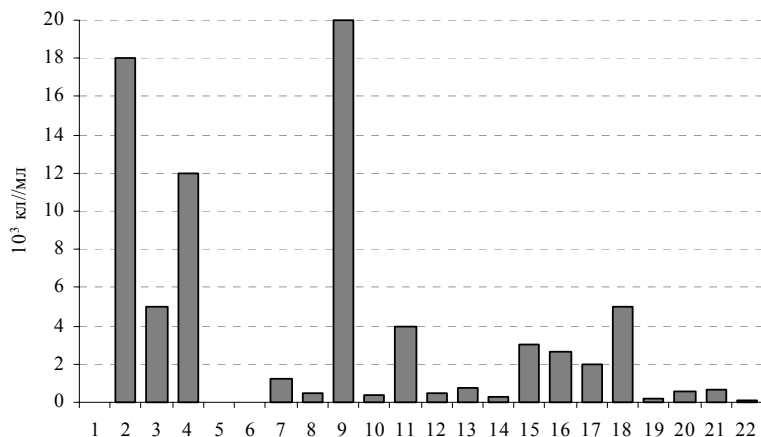
При изучении разрушения фенольных соединений различного строения в качестве субстратов использовали монофенол, резорцин, 2,4-диоксибензойную кислоту, 2,4-диоксибензальдегид, п-метилвый эфир гидрохинона,  $\alpha$ -нафтол, п-аминофенол, п-нитрофенол, динитрофенол, ванилин, ванилиновую и сириговую кислоты, дегидродиванилин.

Определение концентрации фенола проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе HP1050 (Германия). Трансформацию и деструкцию индивидуальных фенольных соединений отмечали по спектрам поглощения в ультрафиолетовой области при 200–410 нм. (УФ–спектрофотометр HP 8452 A). Качественный анализ фенолов проводили методом тонкослойной хроматографии на пластинах Silufol в системах растворителей – четыреххлористый углерод:ацетон (4:1); проявитель: диазотированная сульфаниловая кислота.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате сравнительного анализа структуры микробных комплексов на различных участках экосистемы реки Амур были выявлены зоны с высокой численностью фенолрезистентных бактерий (ФРБ). В русле реки на участках ниже устья р. Сунгари количество ФРБ составило 18 тыс. кл/мл, возле г. Хабаровска – 12 тыс. кл/мл, п. Славянка – 20 тыс. кл/мл, на участке ниже зоны сброса сточных вод г. Амурска – 4 тыс. кл/мл и у п. Тахта – 5 тыс. кл/мл (рис. 1). Это связано с поступлением различных трудноминерализуемых соединений с водами р. Сунгари, влиянием урбопромышленного комплекса (г. Амурск), поступлением гуминовых соединений (п. Тахта) и высвобождением ароматических соединений из донных отложений (п. Славянка).

В Амурском лимане, куда поступают разнообразные органические соединения, загрязняющие водотоки экосистемы р. Амур, высокая численность ФРБ была отмечена на участках, подверженных влиянию речного стока (возле о. Оремиф и п. Озерпах), в районе с интенсивным развитием макрофитов (м. Джаорэ). В районе Сахалинского траверса рост численности ФРБ был зарегистрирован в придонных слоях воды.

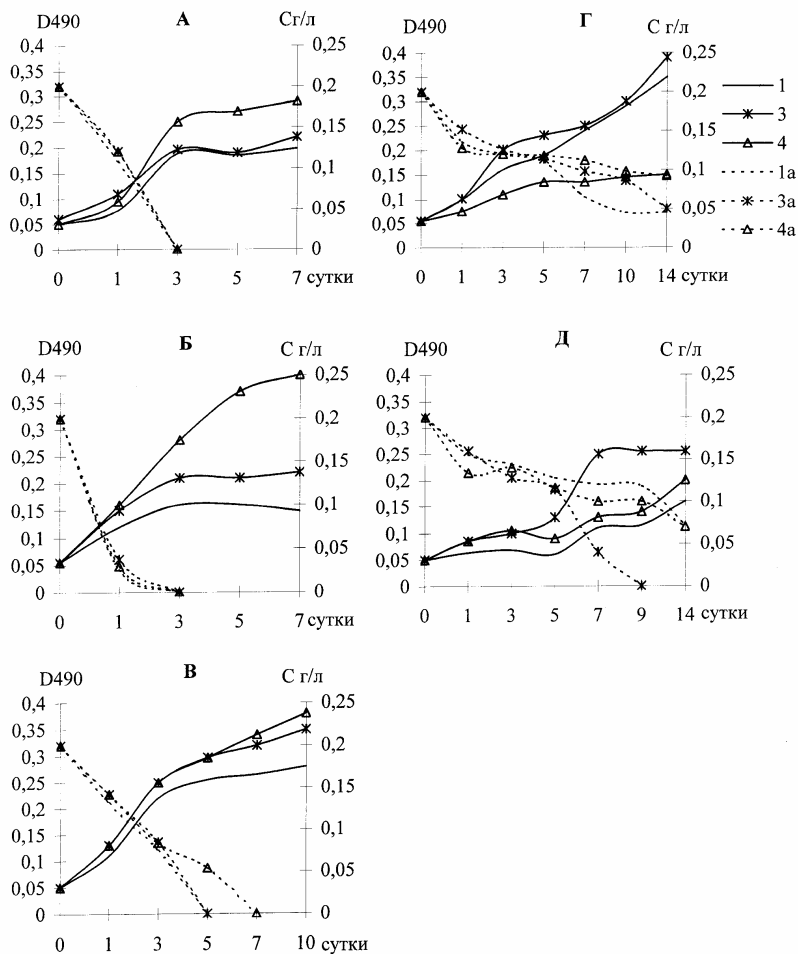


**Рис. 1.** Численность фенолрезистентных бактерий на различных участках русла р. Амур. 1 – р. Амур выше устья р. Сунгари; 2 – ниже устья р. Сунгари; 3 – выше г. Хабаровска; 4 – возле г. Хабаровска; 5 – устье р. Тунгуска; 6 – п. Сикачи - Алян; 7 – устье р. Анюй; 8 – п. Троицкое; 9 – п. Славянка; 10 – п. Малмыж; 11 – г. Амурск; 12 – г. Комсомольск; 13 – п. Бельго; 14 – устье р. Горин; 15 – п. М. Горький; 16 – п. Ниж. Гавань; 17 – устье р. Амгунь; 18 – п. Тахта; 19 – п. Маго; 20 – г. Николаевск-на-Амуре; 21 – п. Красное; 22 – п. Астрахановка.

То есть фенолрезистентные бактерии выступают в качестве индикаторов поступления фенолов как природного так и антропогенного происхождения.

Данные микробиологической индикации фенольного загрязнения были подтверждены результатами химического анализа содержания фенолов в природных водах.

Однако в результате исследования динамики численности ФРБ и фенолразрушающей активности микробоценозов, участвующих в разложении альгомаcсы зеленых водорослей в присутствии дизельного топлива (ДТ) и монофенола было отмечено, что численность ФРБ достигала максимальных значений в присутствии ДТ (рис. 2), а фенолразрушающая активность – в присутствии фенола.



**Рис.2.** Динамика накопления биомассы (1–4) и деструкции фенола (1а–4а) штаммами Дф – 1(А), Оз.ф – 9(Б), Оз.ф – 6(В), Ор.ф – 3(Г), Оз.ф – 7(Д) в присутствии пептона (3, 3а) и глюкозы (4, 4а). Концентрация фенола 0.2 г/л; пептона и глюкозы 0.1 г/л.

Двухфазность роста фенолрезистентных бактерий на дизельном топливе может объясняться несколькими причинами. Во-первых, сложным качественным составом ароматических соединений ДТ и их поэтапной утилизацией. Во-вторых, значительным отличием состава ароматических соединений ДТ и фенолов, выделяющихся при разложении водорослей. Более высокая численность ФРБ в присутствии дизельного топлива, по сравнению с их количеством в присутствии фенола, может быть связана со способностью фенолрезистентных бактерий использовать в качестве источника углерода алифатические углеводороды, составляющие основную часть ДТ.

Колебания фенолразрушающей активности в контрольном и опытных микрокосмах на 20-ые и 30-ые сутки, по-видимому, связаны с изменением концентрации фенольных соединений, доступных для микроорганизмов. Вероятно, в начале эксперимента (10 сутки) разлагаются в основном внеклеточные фенолы водорослей (в контроле), а также внесенный фенол и ароматические соединения, входящие в состав ДТ (в опытных микрокосмах); на 20-ые сутки в результате деструкции, концентрация фенольных соединений уменьшается. Повышение содержания фенолов в КЖ на 30 сутки связано с разрушением клеток водорослей и выходом внутриклеточных фенольных соединений в культуральную среду. Согласно литературным данным (Сиренко, Козицкая, 1988) количество фенолов в культуральной среде возрастает по мере старения водорослей, что связано с автолизом клеток.

То есть численность фенолрезистентных бактерий не отражает темпов разрушения ФС.

Интенсивность микробиологического разрушения фенолов в природных водоемах определяется не только потенциальной активностью микробных комплексов, но и рядом абиотических факторов (температурный режим, наличие дополнительных источников углерода, градиент солености – в зонах смешения пресных и соленых вод).

При изучении деструкции фенола природными изолятами бактерий было отмечено снижение темпов утилизации поллютанта при низкой температуре (табл. 1).

**Таблица.1.** Влияние температуры на интенсивность деструкции фенола природными изолятами бактерий, выделенными из различных местообитаний Амурского лимана.

Код штам- ма	27°C		12°C	
	Убыль фенола (%)	Сроки (сутки)	Убыль фенола (%)	Сроки (сутки)
Дф-1	100	3	100	7
Ор.ф-3	78	14	37.5	14
Оз.ф-6	100	5	75	14
Оз.ф-7	64	14	37.5	14
Оз.ф-9	100	3	100	5

Дополнительные источники углерода оказывали различное влияние на сроки деструкции токсиканта. Анализ динамики разрушения фенола (0.2 г/л) 5 микробиологически чистыми культурами бактерий в присутствии дополнительных источников углерода показал, что пептон (0.1 г/л) стимулировал утилизацию фенола штаммом Оз.ф-7, а глюкоза замедляла темпы деструкции штаммами Оз.ф-6 и Ор.ф-3.

При исследовании влияния ряда аминокислот на деструкцию фенола штаммом бактерий Оз.ф-9 установлено, что утилизация токсиканта стимулировалась только глицином. При внесении в среду триптофана, тирозина, аланина и орнитина концентрация фенола оставалась на исходном уровне.

В результате исследования влияния широкого интервала солености на интенсивность деструкции фенола было показано, что при концентрации морской соли 0 и 3% культура бактерий Оз.ф-9 утилизиовала токсикант в концентрации 0.2 г/л за 2–3 суток. При концентрации морской соли 5% за трое суток разрушала – 52% токсиканта. При повышении концентрации соли до 10%: в течение 10 суток было разрушено 38% фенола.

При изучении деструкции фенольных соединений различного строения штаммами бактерий Дф-1 и С7-3 было отмечено разрушение ароматического кольца природных ФС, представленных низкомолекулярными производными лигнина (ванилин, дегидродиванилин, сиринговая и ванилиновая кислоты). Среди фенолов, поступление которых в поверхностные воды связано в основном с промышленным производством, полностью разрушались – монофенол (только штаммом Дф-1),  $\alpha$ -нафтол, аминофенол; концентрация п-нитрофенола снижалась на 50%, 2,4-диоксибензойной кислоты – на 20–30%, а 2,4-диоксибензальдегид и п-метилвый эфир гидрохинона не разрушались в течение эксперимента (10 суток).

Таким образом, определение численности фенолрезистентных бактерий позволяет проводить мониторинг загрязнения водных экосистем фенолами различного происхождения. Однако для получения объективной оценки степени экологического риска фенольного загрязнения необходимо также определение компонентного состава фенолов, изучение потенциальной ферментативной активности микробоценозов и влияния абиотических факторов на интенсивность деструкции конкретных токсикантов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дзюбан А.Н., Косолапов Д.Б., Кузнецова И.А.* Микробиологические процессы в Горьковском водохранилище// Водные ресурсы. 2001. Т. № 1. С. 47–57.
2. *Димитриева Г.Ю.* Микроорганизмы-биоиндикаторы фенольного загрязнения прибрежной морской среды // Биол. моря, 1995. Т. 21. № 6. С. 407-411.
3. *Дрюккер В.В., Петрова В.И.* Бактериопланктон реки Енисей. - Новосибирск: Наука, 1988. 25 с.
4. *Кондратьева Л.М.* Микробиологическая оценка фенольного загрязнения р. Амур //Мат. регион. конф. «Дальний Восток – территория, природа, люди»: Биробиджан, 1987. С. 40–45.
5. *Кондратьева Л.М.* Вторичное загрязнение водных экосистем // Водные ресурсы, 2000.- Т.27, № 2. С.221–231.
6. *Кондратьева Л.М., Каретникова Е.А., Гладун Е.И., Чухлебова Л.М.* Микробиологическая оценка экологического состояния р. Амур //Тез. Межд. конф. «Экологические проблемы бассейнов крупных рек-2» Тольятти, 1998 С. 207.
7. *Микроорганизмы в экосистемах Приамурья / Кондратьева Л.М., Гаретова Л.А., Иманова Е.Л., Кириенко О.А., Чухлебова Л.М., Каретникова Е. А.* -Владивосток: Дальнаука, 2000. 198 с.
8. *Сиренко Л.А., Козицкая В.Н.* Биологически активные вещества водорослей и качество воды. Киев: Наукова думка, 1988. -256 с.
9. *Столбунов А.К.* О микробиальных процессах распада фенолов в р. Волге и ее водохранилищах// Гидробиологический ж-л, 1976. Т.12, №1, С. 33-39.
10. *Фомин Г.С.* Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам.- М.: Протектор, 1995. 624 с.



## **ЗООБЕНТОС РЕКИ ТОМИ В ПЕРИОД ПОНИЖЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА САМООЧИЩЕНИЯ, 2000 – 2001 ГОД**

**М.И. Ковешников, Е.Н. Крылова**

*Институт водных и экологических проблем СО РАН*  
656099 Алтайский край, г. Барнаул, ул. Папанинцев, 105.  
E-mail: kirillov@iwer.ab.ru

В сентябре – октябре 2000 и марте 2001 года исследовали зообентос среднего течения р. Томи на 11 участках от с. Камушко (выше г. Междуреченска) до г. Томска. Определены таксономический состав, численность и биомасса донных животных. Анализ структуры сообществ и пространственного распределения зообентоса в осенний и весенний периоды показал наличие разнообразных по составу и уровню сложности донных сообществ, обеспечивающих биологическое самоочищение на участке предполагаемого строительства Крапивинского гидроузла.

Ключевые слова: зообентос, сообщество, самоочищение.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Анализ структуры водных экосистем – объективный метод оценки качества воды, так как биологическая структура и качество среды тесно взаимосвязаны. Данные по биомассе и структуре бентосных сообществ являются в этом смысле наиболее информативными. В связи с планированием строительства Крапивинского гидроузла возникла задача всесторонней оценки качества воды реки Томи, в том числе исследования структурных и функциональных характеристик зообентоса. Результаты исследований зообентосных сообществ в районе предполагаемого строительства гидроузла относятся к периоду с 1980 г. до августа 2000 г. [16].

Цель наших исследований – оценка современного состояния зообентоса реки Томи: определение таксономического состава, типа питания и структуры доминирования сообществ макрозообентоса реки в период осенней межени и ледостава, оценка качества речных вод в период пониженного потенциала самоочищения по характеристикам зообентоса.

### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Пробы зообентоса отбирали во время маршрутных съемок в период осенней межени в конце сентября – начале октября 2000 г. и в период окончания ледостава в конце марта 2001 г. Низкий уровень и расход воды в это время, невысокая температура, окончание (либо самое начало) вегетационного периода и связанное с этим уменьшение

количества гидробионтов обуславливают пониженный потенциал самоочищения реки. Всего проанализировано 39 проб.

Осеннюю съемку проводили с левого берега в среднем течении р. Томи на 5 станциях от с. Ерунаково (ниже г. Новокузнецк) до с. Можуха (ниже г. Кемерово); весеннюю съемку проводили на 8 станциях: от с. Камушко (выше г. Междуреченск) до г. Томска, пробы собирали в полыньях и лунках с разных берегов. Отбор и камеральную обработку проб проводили общепринятыми методами [15].

При таксономической идентификации зообентосных организмов использовали следующих определителей: хирономиды – [11,12,13]; хирономиды (часть) и прочие двукрылые – [10]; олигохеты – [7]; ручейники – [5, 6]; веснянки, поденки, моллюски, жуки и клопы – [9]; веснянки (часть) – [19]; пиявки – [7]; водяные клещи – [17]. Работы Жадина В.И. [3,4] использовали в качестве вспомогательных.

Оценку качества воды проводили по классификации ОГСНК [8] с использованием индексов: сапробности (Пантле-Букка), олигохетного (Гуднайта-Уитлея), биотического (Вудивисса). В качестве вспомогательных использовали олигохетные индексы Э.А. Пареле и хирономидный индекс Е.В. Балушкиной [15]. Для оценки степени сходства фауны на различных участках реки и между сезонами использовали индекс Жаккара [14] и попарные меры включения [1].

**Природные условия района исследований.** Река Томь по гидрологической характеристике относится к средним рекам. Распределение годового стока неравномерное и характеризуется типичным для сибирских рек уменьшением количества воды в периоды летне-осенней и зимней межени. Сток летнее – осеннего периода составляет от 17 до 29% от объема годового стока в различные по водности годы. Минимальные расходы летне-осеннего периода обычно приходятся на август – сентябрь, что совпадает с периодом наших исследований [2]. Основной тип грунта на исследуемом участке реки – галечник с илистыми или песчаными наносами. В районе предполагаемого строительства в р. Томь впадают помимо мелких ручьев один левый приток (р. Аба, которая подвержена сильному техногенному загрязнению и несет шахтные воды) и четыре антропогенно не нагруженных правых притока (три Терси и Тайдон), стекающих с отрогов Кузнецкого Алатау.

Особенностью данной реки, включающей горно-таежный и лесостепной участки, является олиго- и мезотрофность речных вод, низкий исходный потенциал биологического самоочищения, связанный со слабым развитием биоценозов, низкая температура воды весной в период максимального поступления с водосборного бассейна загрязняющих веществ. Расположение промышленных центров в бассейне

реки еще больше обостряет ситуацию. Все это накладывает особую ответственность на водопользователей региона для минимизации отрицательных последствий хозяйственной деятельности на качество речных вод.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В период осенней межени на участке Новокузнецк-Кемерово встречено 15 видов животных, представляющих 5 таксономических групп зообентоса: 8 видов двукрылых (из них 8 видов хирономид и 1 вид типулид), 3 вида олигохет, 2 вида моллюсков и по 1 виду пиявок и водяных клопов. Обнаруженные виды относятся к лимно-потомафильной группе, широко распространены в Голарктике, приурочены к песчано-каменистой или заиленной литорали, а также к области зарослей макрофитов, что согласуется с условиями отбора проб. Большинство обнаруженных мирных форм являются растительноядными, на втором месте грунтоядные, исключение составляет единично обнаруженный двустворчатый моллюск.

Изменение в составе структурообразующего комплекса вниз по течению происходит в следующем порядке. У с. Ерунаково (ниже г. Новокузнецк) на заиленном грунте доминируют пелофильные виды олигохет и хирономид, консументами второго порядка являются хищные пиявки (таб.1). У с. Усть-Нарык, где наблюдается уменьшение количества ила и восстановление зарослей макрофитов, складывается приуроченное к области зарослей сообщество, среди мирных форм лидируют всеядные водяные клопы и пелофильные олигохеты. Остальную массу сообщества составляют фито- и зоофаги из хирономид. Далее, у с. Салтымаково, где обильны заросли макрофитов, *Corixa dentipes* Thomson (Heteroptera) становится монодоминантом. Ближе к г. Кемерово, с увеличением количества населенных пунктов, вновь усиливается антропогенное давление. Здесь, у с. Металлоплощадка, на каменисто-песчаном с наилком грунте доминирует олигохетный комплекс. Ниже г. Кемерово, у с. Мозжуха, обнаружен единственный экземпляр *Sphaerium corneum* L. (Bivalvia), что говорит об угнетенном состоянии зообентоса.

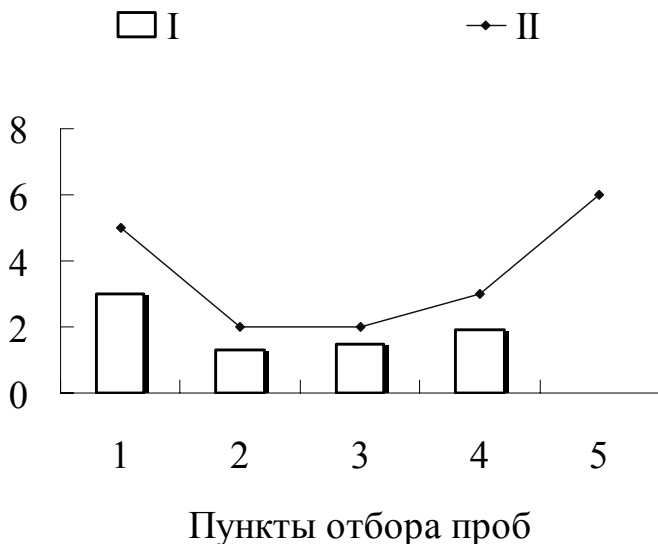
**Таблица 1** Состав доминант зообентоса на различных участках реки Томи осенью 2000 г.

Станция	Доминанты	Тип питания	Доля численности, %	Доля биомассы, %
Ерунаково	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede	грунтоядный	56	30
	<i>Tipula fulvipennis</i> De Geer	грунтоядный	22	47
Усть-Нарык	<i>Corixa dentipes</i> Newman	всеядный	47	34
	<i>Ophidonais serpentina</i> Muller	грунтоядный	16	34
Салтымаково	<i>Corixa dentipes</i> Newman	всеядный	81	83
	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede	грунтоядный	20	56
Металло-площадка	<i>Ophidonais serpentina</i> Muller	грунтоядный	20	23
Мозжуха	<i>Sphaerium corneum</i> L.	фильтратор	100	100

В целом следует отметить низкие количественные показатели и упрощенную структуру сообществ зообентоса в этот период: численность колебалась в пределах 0.05–2.29 тыс. экз./м<sup>2</sup>, биомасса 0.11–2.63 г/м<sup>2</sup>, видовая насыщенность сообществ – от 1 до 6 видов, индексы разнообразия Маргалефа и Шеннона – 0–2.49 и 0–1.61 соответственно. Основу численности донных организмов составляли клопы, по биомассе лидировали типулиды, по количеству видов – хирономиды. Максимальное значение численности и количества видов отмечено у с. Салтымаково, биомассы – в с. Металлоплощадка, минимальные показатели зарегистрированы у с. Мозжуха.

Расчет индекса сапробности по методу Пантле и Букка показал, что исследованный участок реки в среднем можно охарактеризовать как бета-мезосапробный, однако загрязнение распределено неравномерно. Наиболее загрязненные участки расположены ниже городов Новокузнецк и Кемерово. Наиболее чистый участок расположен между с. Усть-Нарык и с. Салтымаково, где зарегистрированы олигосапробные условия (рис. 1), свидетельствующие о самоочищении реки на

этом участке, по-видимому, связанном с уменьшением антропогенной нагрузки и впадением крупных чистых притоков.



**Рис. 1.** Сапробность и классы качества воды р. Томи в сентябре-октябре 2000 года по характеристикам зообентоса: I – индекс сапробности Пантле-Букка, II – класс качества по ОГСНК; 1 – Ерунаково, 2 – Усть-Нарык, 3 – Салтымаково, 4 – Металлоплощадка, 5 – Мозжуха.

В весенний период на участке Междуреченск-Томск встречены 60 видов животных, представляющих 11 таксономических групп зообентоса: 23 вида двукрылых (из них 22 вида хирономид и 1 вид цера-топгонид), 14 видов ручейников, 13 видов поденок, 10 видов олигохет, по 2 вида веснянок, пиявок и моллюсков; по 1 виду водяных клопов, жуков, клещей и нематод. Обнаруженные виды относятся преимущественно к потамо-реофильной группе, широко распространены, приурочены к каменистой литорали, богатой фитообрастаниями. Подавляющее большинство обнаруженных мирных форм являются растительноядными.

Изменение в составе структурообразующего комплекса вниз по течению происходит в следующем порядке. В крупных полыньях на каменистом грунте у с. Камушко (выше г. Междуреченск) среди мирных форм доминируют фито-детритоядные поденки, среди хищных – веснянка *Chloroperla apicalis* Newman (таб. 2).

**Таблица 2.** Состав доминант зообентоса на различных участках реки Томи весной 2001 г.

Станция	Доминанты	Тип питания	Доля числе н- ности, %	Доля биомассы, %
Камушко	<i>Pseudocleon sp.</i>	фитодетритоядный	27	41
	<i>Ecdyonurus affenis</i> Eaton	фитодетритоядный	20	14
	<i>Chloroperla apicalis</i> Newman	хищный	10	41
Славино	<i>Ecdyonurus venosus</i> Fabricius	фитодетритоядный	2	13
	<i>Tanytarsus sp.</i>	фитодетритоядный	64	2
	<i>Hydropsyche nevae</i> Kolenati	хищный	2	45
	—	—	—	—
Осиновое Плесо	—	—	—	—
Салтымаково	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede	грунтоядный	70	90
	<i>Helobdella stagnalis</i> L.	хищный	20	85
Крапивино	<i>Chironomus cingulatus</i> Meigen	всеядный	28	41
	<i>Limnochironomus sp.</i>	всеядный	28	17
	<i>Ephemera lineata</i> Eaton	всеядный	6	27
	<i>Heptagenia sp.</i>	фитодетритоядный	2	10
Верхтомка	<i>Hydropsyche nevae</i> Kolenati	хищный	4	17
	<i>Erpobdella octoculata</i> L.	хищный	50	94

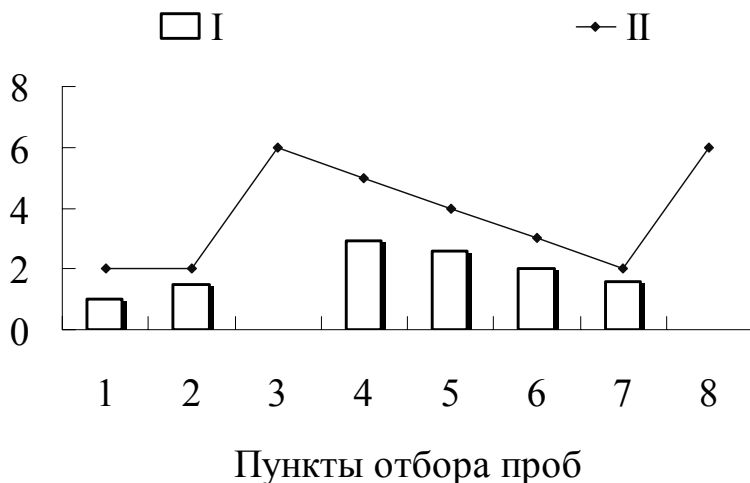
У с. Славино, где подогреваемая стоками Новокузнецкого промышленного центра река освободилась ото льда, на каменистом грунте обильно развиваются фитообрастания и сопутствующая фауна. Здесь среди мирных форм доминируют поденки, весьма обильны и мелкие личинки *Tanytarsus sp.* (Chironomidae), основными консументами второго порядка являются хищные личинки ручейников, в особенности

крупные гидросихиды. В районе с. Осиновое Плесо вода р. Томь смешивается с водой сильно загрязненных шахтными водами левых притоков, что наряду с наличием льда вызывает частичную или полную деградацию макрозообентоса, здесь обнаружить животных не удалось. Ниже по течению р. Томь вбирает в себя три притока, и у с. Салтымаково (подо льдом, на галечнике с наилком) развивается простое сообщество с пелофильным монодоминантом *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede (Oligochaeta). У с. Крапивино, подо льдом, на песчано-каменистом грунте, доминируют хищные пиявки, консументами первого порядка являются фитофаги (хирономиды) и пелофилы (олигохеты). У с. Металлоплощадка, подо льдом, на заиленном каменистом грунте, сообщество составлено преимущественно всеядными хирономидами и поденками. Ниже г. Кемерово (с. Верхтомка), как и ниже г. Новокузнецка, река свободна ото льда и на каменистом грунте обильно развиваются фитообрастания. Здесь консументами первого порядка являются разнообразные фито-детритофаги, среди мирных форм лидирует *Heptagenia* sp. (Ephemeroptera), среди хищников – *Hydropsyche nevae* Kolenati (Trichoptera), богато представлены мирные и хищные хирономиды. Выше г. Томск (Лагерный сад) в полынье на каменисто-песчаном грунте лишь единично обнаружены пиявка и двустворчатый моллюск, что свидетельствует об угнетенном состоянии зообентоса на этом участке.

Следует отметить большой диапазон количественных и структурных показателей зообентоса – от полного отсутствия (с. Осиновое Плесо) до массового развития. В этот период численность колебалась в пределах от 0 до 32.82 тыс. экз./м<sup>2</sup>, биомасса от 0 до 22.72 г/м<sup>2</sup>, видовая насыщенность сообществ достигала 40 видов, индексы разнообразия Маргалефа и Шеннона достигали значений 6.11 и 2.61 соответственно.

Основу видового разнообразия и численности составляли хирономиды, на втором месте стояли олигохеты, по биомассе лидировали ручейники. Наблюдается связь пространственной неоднородности количественных показателей и индексов разнообразия, резкие пики развития зообентоса отмечены в пунктах Славино и Верхтомка с максимумами в Славино.

Расчет индекса сапробности по методу Пантле и Букка показал, что исследованный участок реки в среднем можно охарактеризовать как бета-мезосапробный, однако загрязнение распределено неравномерно (рис. 2). Наиболее чистыми являются участки Камушко, Славино и Верхтомка. Наиболее загрязненные – Осиновое Плесо и Томск.



**Рис. 2.** Сапробность и классы качества воды реки Томи в сентябре-марте 2001 года по характеристикам зообентоса: I индекс сапробности Пантле-Букка, II – класс качества по ОГСНК; 1 – Камушко, 2 – Славино, 3 – Осиновое Плесо, 4 – Салтымаково, 5 – Крапивино, 6 – Металлоплощадка, 7 – Верхтомка, 8 – Томск.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В целом, в сентябре – октябре 2000 г. и марте 2001 г., в районе средней Томи встречено 67 видов животных, относящихся к 11 таксономическим группам зообентоса. По количеству видов лидируют хирономиды. Оценка степени фаунистического сходства показала неоднородность фауны на различных участках реки осенью и весной, а так же на одинаковых (или близких) участках между сезонами. Индекс Жаккара нигде не превышал значения 0.11, а наибольшие попарные меры включения видов между соседними пунктами (отмеченные и осенью и весной в районе г. Кемерово, на участке Салтымаково – Верхтомка) не превышали 37% при индексе Жаккара) 0.09. В осенний период второе место по количеству видов занимали олигохеты. Весной второе место делят ручейники, поденки и олигохеты, доля видов которых в этот период примерно равна. Средняя численность и биомасса от осени к весне изменялись с 0.9 тыс. до 7.7 тыс. экз./м<sup>2</sup> и с 1.1 до 6.3 г/м<sup>2</sup>, что соответствует среднему уровню этих показателей в августе 1989 и 2000 гг. [16], то есть количественные показатели зообентоса



последние десять лет остаются на одном уровне, с понижением в осенне – зимние периоды.

Если отличие видового состава между сезонами (осень и весна) вызвано в первую очередь природными факторами (начало и конец вегетации), то значительные количественные и качественные отличия между соседними точками в одном сезоне являются, по-видимому, отражением влияния на биоценоз антропогенной нагрузки. Осенью города Новокузнецк и Кемерово оказывают на зообентос сильное угнетающее воздействие, но сообщества постепенно восстанавливаются по мере удаления от очага загрязнения за счет включения совершенно различных экологических групп и видов, параллельно изменению условий существования (характера грунта, наличием зарослей макрофитов). Одновременно с этим происходит увеличение количественных показателей и усложнение структуры сообществ. Таким образом, в одной реке на разных участках формируются различные по уровню сложности, видовому составу и доминирующему комплексу сообщества (возможно генетически связанные с населением близлежащих чистых притоков). Весной основным фактором, лимитирующим развитие зообентоса, является ледяной покров, под которым по мере удаления от городов формируются сначала простые сообщества, затем качественно и количественно развивающиеся примерно до уровня бентосного сообщества первой станции (с. Камушко), которая находится выше промышленной зоны. Однако антропогенный фактор оказывает в весенний период двойное влияние. С одной стороны, загрязнение усугубляет тяжелую для зообентоса ситуацию ледостава (например у с. Осиновое Плесо зообентос отсутствовал, а у г. Томска находился в сильно угнетенном состоянии). С другой стороны, в непосредственной близости от городов подогретые промышленные стоки растапливают лед, вызывая бурное развитие жизни и начало вегетации, что по формальным приемам оценки качества воды даже характеризует эти участки как «чистые», а загрязняющий эффект сильнее всего сказывается именно в тех местах, где промышленные воды остывают и уходят под лед.

Таким образом в период пониженного потенциала самоочищения зообентос р. Томи представляет собой «мозаику» отличающихся друг от друга речных сообществ, преимущественно хирономидного типа, достигающих довольно высокого разнообразия и сложной структуры. На распределение, количественные показатели и структуру зообентоса весной и осенью значительное влияние оказывают расположенные в бассейне Томи промышленные центры Новокузнецк и Кемерово, дисбалансирующие экосистему реки. Наибольшее загрязнение р. Томи на исследованном участке происходит за счет поступления с

левого берега шахтных вод Новокузнецкого промышленного центра в районе устья р. Аба и с. Ерунаково. На участке предполагаемого строительства Крапивинского гидроузла (а именно от с. Усть-Нарык до с. Металлоплощадка) в период исследования отмечен процесс самоочищения реки, способствующий фактически полному восстановлению донных сообществ, что связано, по-видимому, с уменьшением антропогенной нагрузки и впадением чистых притоков на этом участке. Ниже по течению экологическая ситуация вновь ухудшается. По характеристикам зообентоса исследованный участок является бета-мезосапробным.

## ВЫВОДЫ

1. В период исследований на р. Томи встречено 67 видов животных, относящихся к 11 таксономическим группам зообентоса. По количеству видов лидируют хирономиды.

2. В период пониженного потенциала самоочищения зообентос р. Томи представлен последовательностью разнообразных по составу и уровню сложности донных сообществ, что является следствием сильного техногенного загрязнения реки.

3. По характеристикам зообентоса исследованный участок является бета-мезосапробным. Наибольшее загрязнение вносят Новокузнецкий промышленный центр и г. Кемерово.

4. На участке Новокузнецк – Кемерово, в районе предполагаемого строительства Крапивинского гидроузла, происходит активный процесс самоочищения реки, в результате которого р. Томь справляется с дисбалансирующим действием города Новокузнецка даже в период пониженного потенциала самоочищения.

Работа поддержана грантами РФФИ № 00–15–98542 и № 00–05–64632.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев В.Л.* Классификационные построения в экологии и систематике. М.: Наука, 1980. 142 с.
2. *Атавин А.А., Орлова Г.А., Савкин В.М.* Современная и перспективная водо-ресурсная ситуация на реке Томи и ее водосборном бассейне. // Обской вестник. № 3–4, 1999. С. 62–68.
3. *Жадин В.И.* Моллюски пресных вод СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1952 376 с.
4. Жизнь пресных вод СССР / Под ред. В.И. Жадина. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940. Том 1. 440 с.

5. *Лепнева С.Г.* Фауна СССР. Ручейники. Личинки и куколки подотряда Кольчатощупиковых (Annulipalpia). Том II, вып. 1. М.–Л.: Наука, 1966. 563 с.
6. *Лепнева С.Г.* Фауна СССР. Ручейники. Личинки и куколки подотряда Цельнощупиковых (Integripalpia). Том II, вып. 2. М.–Л.: Наука, 1966. 563 с.
7. *Лукин Е.И.* Фауна СССР. Пиявки, Т.1. Пиявки пресных и солоноватых водоемов. Л.: Наука, 1976. 484 с.
8. Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети Госкомгидромета в рамках ОГСНК. Л., Гидрометеиздат, 1984. 40 с.
9. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос) / Под ред. Л.А. Кутиковой, Я.И. Старобогатова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 512 с.
10. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4, Высшие насекомые, Двукрылые / Под ред. С.Я. Цалолыхина. СПб, 1999. 1000 с.
11. *Панкратова В.Я.* Личинки и куколки комаров подсемейства Chironominae фауны СССР (Diptera, Chironomidae=Tendipididae). Л.: Наука, 1983. 296 с.
12. *Панкратова В.Я.* Личинки и куколки комаров подсемейства Orthoclaadiinae фауны СССР (Diptera, Chironomidae=Tendipididae). Л.: Наука, 1970. 345 с.
13. *Панкратова В.Я.* Личинки и куколки комаров подсемейства Tanypodinae и Podonominae фауны СССР (Diptera, Chironomidae=Tendipididae). Л.: Наука, 1977. 296 с.
14. *Песенко Ю.А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 387 с.
15. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова СПб., Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
16. *Селезнева М.В.* Особенности видового состава и количественного развития зообентоса среднего течения реки Томи. // Современные проблемы гидробиологии Сибири. Тезисы докладов всероссийской конференции (г. Томск, 14–16 ноября 2001 года) Томск, 2001. С. 72–74.
17. *Тузовский П.В.* Определитель дейтонимф водяных клещей. М.: Наука, 1990. 238 с.
18. *Чекановская О.В.* Водные малощетинковые черви фауны СССР. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 412 с.

19. Чернова О.А. Определительная таблица родов поденок сем. *Heptageniidae* (Ephemeroptera) гомарктики и ориентальной области по личинкам. // Энтомологическое обозрение, LV, 2, 1976. 14 с.

## **ZOOBENTHOS IN TOM RIVER IN THE PERIOD OF DECREASED POTENTIAL OF SELF-PURIFICATION, 2000–2001**

**M.I. Koveschnikov, E.N. Krylova**

Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS  
105, Papanintsev St., Barnaul, 656099 Russia

The study of zoobenthos in the Tom middle flow was carried out in September – October, 2000 and March, 2001. Samples were taken at 11 sites of Tom river from Kamuschko settlement above Mezhdurechensk city to Tomsk city. Zoobenthos taxa composition, number and abundance were estimated. Communities structure and spatial distribution of zoobenthos were analyzed for autumn and spring periods. Occurrence of bottom communities various in composition and complexity level providing biological self-purification at the site of the planned construction of Krapivinsky HES was shown.

Key words: zoobenthos, community, self-purification.

## **О САМООЧИЩЕНИИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ ОТ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

**И.Ю. Куликова**

Астраханский Государственный Технический Университет,  
каф. «Экологический туризм». г. Астрахань 414025, ул. Татищева 16.  
E-mail: iepo@astu.astranet.ru

Мониторинговые исследования Северного Каспия проводились весной 2001 года на 107 станциях. Пробы отбирали в подповерхностном и придонном горизонте. Определяли численность сапрофитных гетеротрофных и нефтеокисляющих микроорганизмов.

Выявлено преобладание всех групп бактерий в подповерхностном горизонте воды по сравнению с придонным. Отмечено незначительное доминирование нефтеокисляющих бактерий над сапрофитными на всех горизонтах станций. Выявлена тенденция повышения окислительной способности с увеличением численности нефтеокисляющей микрофлоры.

Результаты исследования показали, что в водах Северного Каспия интенсивно идут процессы естественного самоочищения от нефти и ее производных.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Интенсивная разведка и разработка морских месторождений углеводородного сырья приводит к тому, что нефть и ее производные становятся одними из самых распространенных загрязняющих веществ. В оценке поражения морской среды, вызываемого нефтяным загрязнением, важнейшим является исследование стабильности и жизнеспособности естественных систем – пределов их выживания и механизмов самоочищения. Потенциал самоочищения как показатель способности морской воды к нейтрализации, разложению и утилизации загрязняющих веществ, ведущих к восстановлению естественных характеристик, является наиболее универсальным критерием оценки состояния экосистемы.

Самоочищение водоемов, загрязненных нефтепродуктами, это стадийный биогеохимический процесс трансформации загрязняющих веществ, сопряженный с процессом восстановления биоценоза, протекающий под воздействием физических, химических и биологических факторов. Однако при первых двух происходит лишь частичные изменения в составе нефтепродуктов. В сложном процессе самоочищения морской воды от нефтяного загрязнения ведущую роль играют микроорганизмы, благодаря разнообразию их ферментативных систем и быстрой адаптации к изменяющимся условиям среды

В результате деятельности нефтеоокисляющих микроорганизмов углеводороды нефти трансформируются до простых соединений (углекислоты и воды), происходит накопление органического вещества в результате нарастания биомассы микрофлоры и тем самым включение углеводородных компонентов нефти в общий круговорот веществ в водоемах. Для различных природных зон длительность отдельных стадий этого процесса различна, что связано, в основном, с водно-почвенно-климатическими условиями. Важную роль играют состав нефти, наличие сопутствующих солей, начальная концентрация загрязняющих веществ [6].

Взаимосвязь между наличием нефтяного загрязнения и увеличением численности и видового разнообразия нефтеоокисляющих бактерий предлагается использовать как в качестве биологического индикатора углеводородного загрязнения, так и для оценки интенсивности процессов самоочищения [12]. Однако определение таких экологических показателей, как численность и видовое разнообразие, свидетельствует лишь о потенциальной возможности процесса самоочищения [13]. Более объективной оценкой нефтяного загрязнения и, самое важное, интенсивности процессов самоочищения является реакция микроорганизмов на антропогенное воздействие, выраженная в снижении или повышении величины потенциальной окислительной способности аборигенной микрофлоры по отношению к окислению нефти [10].

В задачи наших исследований входило выяснение роли микроорганизмов в разрушении нефтяных остатков в водах Северного Каспия, что является особенно актуальным в условиях перспектив расширения нефтедобычи на морском шельфе.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Мониторинговые исследования воды Северного Каспия проводились весной 2001 года на 107 станциях. Отбор проб воды на гидрохимические и микробиологические исследования производился с подповерхностного и придонного горизонтов в соответствии с ГОСТами и общепринятыми методиками [16, 3, 4, 8, 17]. Численность гетеротрофных сапрофитных бактерий (ГСБ) и нефтеоокисляющих бактерий (НОБ) определяли методом предельных разведений и фильтрованием через мембранные фильтры «Миллипор», которые затем проращивали на поверхности рыбопептонного агара и среде Чапека с дизельным топливом. Для изучения окислительно-восстановительных условий в исследуемых морских водах и направленности и интенсивности процессов, осуществляемых бактериальным аборигенным биоценозом, параллельно с микробиологическими показателями определяли содержа-

ние растворенного в воде кислорода, потенциальную окислительную способность (ПОС) по отношению к нефтяным углеводородам и убыль кислорода на биохимическое окисление растворенного органического вещества (РОВ) по показателю функции дыхания микрофлоры. Деструкцию РОВ определяли по общепринятой методике, величину ПОС определяли согласно методике Г.Л. Марголиной [9, 10] и [17].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для морских вод всех исследуемых структур отмечен диапазон температур 11.9–19.3°C для подповерхностного и 7.7–17.1°C для придонного горизонтов. Максимальные температурные характеристики (выше 18.0°C в подповерхностном и 17.5°C в придонном горизонтах) зарегистрированы на структуре № 1, что объясняется большим прогреванием слоев морских вод на более мелководных акваториях исследуемого района. Придонные слои морских вод в районе структуры № 4 имеют минимальные температурные характеристики (менее 8.5°C), что определяется фактором глубины в данной части Каспийского моря и влиянием водных масс Среднего Каспия. Соленость воды на всех структурах колебалась в пределах от 1.7 до 14.7, в среднем составляла 9.2 промилле.

Результаты микробиологического анализа проб воды Северного Каспия показали неоднородное распределение гетеротрофных сапрофитных бактерий (ГСБ) и нефтеокисляющих бактерий (НОБ) на станциях исследуемых структур (табл. 1).

**Таблица 1.** Численность микрофлоры на структурах Северного Каспия.

№ струк- туры	Сред- няя глуби- на, м	Численность гетеротрофных сапрофитных бактерий, тыс. кл./мл					
		Подповерхностный горизонт			Придонный горизонт		
		мини- мальная	макси- мальная	средняя	мини- мальная	макси- мальная	сред- няя
1	5.5	10	150	63	1	100	34
2	9.1	5	280	103	2	150	60
3	7.6	10	300	114	0.2	200	80
4	21.6	5	300	120	2	200	83
Численность нефтеокисляющих бактерий, тыс. кл./мл							
1	5.5	6	310	82	0.1	290	67
2	9.1	10	350	120	0.1	300	93
3	7.6	6	200	126	0.1	180	82
4	21.6	10	200	87	2	180	55

Данные по вертикальному распределению численности микробных популяций показали, что сохраняются закономерности, обусловленные наличием температурной стратификации. Выявлено преобладание всех групп бактерий в подповерхностном горизонте вод в сравнении с придонным.

Численность ГСБ колебалась от 5 тыс. кл./мл до 300 тыс.кл./мл в подповерхностном и от 0.2 тыс.кл./мл в придонном горизонтах станций. Для гетеротрофных сапрофитных бактерий обнаружена тенденция их увеличения с глубиной. Более глубоководной (до 39.5 м) являлась структура № 4, расположенная в юго-восточной части Северного Каспия, где возрастает степень обмена с водами Среднего Каспия. В районе этой структуры зарегистрирована максимальная численность сапрофитов (до 300 тыс. в подповерхностном, до 200 тыс.КОЕ/мл в придонном горизонте). Аналогичные значения плотности популяций ГСБ отмечены на участках станции № 3, примыкающих к взморью рек Волга и Терек, где сказывается влияние выносных течений. Для мелководной структуры № 1 (средняя глубина 5.5 м) характерны низкие значения развития сапрофитной микрофлоры – в среднем 63 тыс. в подповерхностном и 34 тыс.КОЕ/мл в придонном горизонтах.

На исследованных станциях, как для подповерхностных, так и для придонных горизонтов отмечено незначительное преобладание нефтеокисляющих бактерий над сапрофитными. Подобная закономерность в теплое время года была отмечена другими авторами [1, 7]. Численность нефтеразлагающей микрофлоры варьировала от 6 тыс. до 350 тыс.КОЕ/мл в подповерхностном, и от 0.1 тыс. до 300 тыс.КОЕ/мл в придонном слоях воды, достигая повышенной плотности на станциях структур № 2 и № 3.

Вертикальное распределение бактерий этой группы характеризовалось повышенным содержанием их в подповерхностном слое как литоральных, так и глубоководных станций. Подобную тенденцию в распределении углеводородокисляющей микрофлоры отмечала И.Н. Полякова [15], объясняя это соприкосновением поверхностного слоя воды с нефтяной пленкой. Однако при проведении мониторинговых исследований нами не наблюдалось разливов нефти. В то же время, отсутствие на поверхности моря плавающей нефти еще не свидетельствует об отсутствии ее в воде, поскольку при содержании нефти 0.01–0.001 мл/л пленка на поверхности может не наблюдаться [11].

Кроме того, высокая численность углеводородокисляющих бактерий в исследуемом районе не всегда может быть связана с уровнем нефтяного загрязнения. Нефтеокисляющие бактерии, которые, будучи по природе хемоорганотрофами при отсутствии специфических



источников питания перестраивают свои ферментные системы на деструкцию другого органического вещества и тем самым обеспечивают выживаемость, появление же нефтяного загрязнения индуцирует активность и увеличение численности нефтеокисляющих микроорганизмов. Этот факт подтверждается также и другими исследователями [5, 14].

Вследствие выхода нефти из разломов, близости судоходных путей и разбуриваемых месторождений нефтеокисляющие микроорганизмы можно считать обычным компонентом микрофлоры вод Северного Каспия, а их повышенное количество на ряде станций не является показателем загрязнения нефтепродуктами.

В исследуемом районе обнаружена потенциальная способность естественного процесса самоочищения от углеводов, что подтверждается исследованием биохимической активности морских нефтеокисляющих ассоциаций.

Следует отметить, что интенсивность микробиологических процессов в отношении органических соединений, нефтяных углеводов на акваториях полигонов отличается неоднородностью. Показатели ПОС и функции дыхания в подповерхностных горизонтах всех исследуемых структур были выше, чем в придонных слоях, что связано с уменьшением содержания кислорода с глубиной. В табл. 2 приведены средние значения этих показателей, полученные нами в экспедиционных условиях.

**Таблица 2.** Окислительная способность микрофлоры воды Северного Каспия.

№ струк- туры	Подповерхностный горизонт			Придонный горизонт		
	Растворенный кислород, мг O <sub>2</sub> / л	Потенциальная окислительная способность, мг O <sub>2</sub> / л	Функция дыхания, мг O <sub>2</sub> / л	Растворенный кислород, мг O <sub>2</sub> / л	Потенциальная окислительная способность, мг O <sub>2</sub> / л	Функция дыхания, мг O <sub>2</sub> / л
1	10.28	0.52	0.66	9.62	0.31	0.51
2	10.5	0.62	0.54	9.68	0.45	0.43
3	10.5	0.55	0.54	9.74	0.41	0.48
4	10.82	0.48	0.52	9.93	0.27	0.45

На структурах станций № 2 и № 3 отмечена достаточно высокая нефтяная окислительная способность микрофлоры как в подповерхностном (0.62 и 0.55 мг  $O_2$  /л соответственно), так и в придонном горизонтах (0.45 и 0.41 мг  $O_2$  /л), что коррелировало с максимальной численностью нефтеокисляющей микрофлоры на станциях этих структур. Подобная закономерность отмечена также для пресных водоемов [2, 9].

В опытах Зобелла и Прокопа [18] 1 мг кислорода окисляет от 0.5 до 1.4 мг нефти. Эти авторы изучали потребление кислорода при окислении 64 видов нефтей обогащенными культурами углеводородо-окисляющих бактерий. Они имели дело с нефтью, диспергированной в определенном объеме воды. Наши опыты ставились с нефтью, находящейся в виде капли на поверхности воды в склянке. Кроме того эти исследователи имели дело с культурами бактерий, а мы – с природной водой. Следовательно, условия постановки опытов различны и эквивалентные соотношения будут несколько различаться. Если принять эти расчеты, то в исследуемых районах Северного Каспия в 1 л воды за сутки, возможно, может распасться от 0.1–0.4 мг до 0.3–0.9 мг нефтяных остатков.

Таким образом, результаты исследований показали, что микробиоценоз морских вод исследуемых структур обладает достаточно стабильной способностью к окислению органических остатков, что подтверждается его кислородным режимом и функцией дыхания микроорганизмов.

Наличие в районах Северного Каспия большого числа нефтеокисляющих микроорганизмов указывает на то, что в морской воде интенсивно идут процессы естественного самоочищения от нефти и ее производных, ограничивающие в известной степени негативное влияние нефтяных загрязнений.

Изучение водных микробиоценозов в целом и их отдельных компонентов, исследование экологических условий их развития позволит в дальнейшем направленно регулировать развитие определенных групп микроорганизмов для повышения самоочищающей способности морских вод в условиях интенсивно нарастающей эксплуатации шельфа Каспийского моря.

## ВЫВОДЫ

1. Выявлено преобладание всех исследованных групп бактерий в подповерхностном горизонте морских вод, обусловленное температурной стратификацией.
2. Для гетеротрофных сапрофитных микроорганизмов обнаружена тенденция их увеличения с глубиной.

3. Отмечено преобладание нефтеокисляющих бактерий над сапрофитными.
4. Высокая численность углеводородокисляющей микрофлоры не связана с уровнем нефтяного загрязнения в исследуемом районе.
5. Наличие большого числа нефтеокисляющих микроорганизмов и стабильная окислительная способность микробиоценозов морских вод указывает на интенсивно идущие процессы бактериального самоочищения водоема.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ворошилова А.А., Дианова Е.В.* О бактериальном окислении нефти и ее миграция в природных водоемах. // Микробиология, 1950, т. 19, вып. 3, с. 203–210.
2. *Гавришова Н.А.* Микробиальное окисление некоторых нефтепродуктов в воде Дуная. // Гидробиол. журн., 1969, т. 5, вып. 3.
3. ГОСТ 17.1.3.07–82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков // М., 1982. – 12 с.
4. ГОСТ 17.1.5.05–85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. // М., 1985. 13 с.
5. *Ильинский В.В.* Экология углеводородокисляющих морских бактерий. // Автореф. дис...канд. биол. наук. М., 1979. 25 с.
6. *Исмаилов Н.М., Пиковский Ю.И.* Современное состояние методов рекультивации нефтезагрязненных земель. // В кн. Восстановление и загрязнение почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. с. 222–230.
7. *Квасников Е.И., Ключникова Т.М.* Микроорганизмы – деструкторы нефти в водных бассейнах. // Киев: Наук. думка, 1981. 131 с.
8. *Кузнецов С.И., Дубинина Г.А.* Методы изучения водных микроорганизмов // М.: Наука, 1989. 287 с.
9. *Марголина Г.Л.* Исследование процессов бактериального разрушения нефтяных остатков в водохранилищах // В кн.: Флора, фауна и микроорганизмы Волги. М., 1974, с. 28–34.
10. *Марголина Г.Л.* Микробиологические процессы деструкции в пресноводных водоемах // М.: Наука, 1989. 120 с.
11. *Миронов О.Г.* Биологические ресурсы моря и нефтяное загрязнение // М.: Пищ. пром., 1972. 105 с.
12. *Миронов О.Г.* Итоги науки и техники. Общая экология, биоценология и гидробиология. 1977. Т. 4. с. 138.
13. *Новожилова М.И.* Микробиология окружающей среды: Тр. Ин-та микробиологии и вирусологии АН КазССР. 1980, т. 26. С. 53.
14. *Платтира В.П.* Микрофлора и трансформация нефтяных углеводородов в морской воде. // Рига: Зинатне, 1985. 162 с.

15. Полякова И.Н. Распределение микроорганизмов, окисляющих углеводороды в воде Невской губы // Микробиология, 1962, т. 31, вып. 6. с. 1076–1071.
16. Родина А.Г. Методы водной микробиологии. // М.–Л., 1965. 362 с.
17. Руководство по методам биологического анализа морской воды // Под ред. Цыбань А.В. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 192 с.
18. ZoBell C.E., Prokop J.F. Microbial oxidation of mineral oils in Barataria Bay bottom deposit // J. Allgem. Microbiol., 1966, v. 6, N 3, p. 143–162.

## **ABOUT SELF-PURIFICATION OF NORTH CASPIAN SEA FROM PETROLEUM CONTAMINATION**

**Kulikova I.**

Astrakhan State Technical University, Russia

Monitoring studies of water in the North Caspian Sea area were conducted in spring 2001 at 107 stations. Sample selection for hydrochemical and microbiologic studies was made from subsurface and benthal horizons, thus detecting the quantity of saprophytic heterotrophic and oil acidifying microorganisms. To study reductive-oxidative conditions in marine waters under analysis and processes directness and intensity carried out by bacterial indigenous biocenosis, there was determined the content of Oxygen dissolved in water, potentially oxidative capacity in relation to petroleum hydrocarbons and loss of Oxygen on biochemical oxidation of dissolved organic matter by index of florula respiration function.

The dominance of all groups of bacteria was detected in subsurface horizon of waters in comparison with benthal one. The slight dominance of oil acidifying bacteria above saprophytic is marked on all horizons of stations. The tendency of oxidative capacity increase with magnification of number of oil acidifying florula is detected.

The results of the given study have shown, that in waters of the North Caspian Sea there run intensive processes of natural self-purification from petroleum and its derivatives.

## **ОСОБЕННОСТИ РАННЕГО РАЗВИТИЯ И АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ К ДЕЙСТВИЮ ПЕСТИЦИДОВ ЛЕЩА *ABRAMIS BRAMA* (L.), ПЛОТВЫ *RUTILUS RUTILUS* (L.) И ИХ ГИБРИДОВ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

**Е.Е. Лапушкина, А.М. Андреева, Ю.В. Слынько**

Институт биологии внутренних вод им.И.Д.Папанина РАН,

152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н

E-mail: elena@ibiw.yaroslavl.ru

Проведена оценка влияния внутриклеточных (цитоплазматических и генетических) и внешних факторов на формирование метаболической среды зародыша и процессы морфогенеза в развитии леща, плотвы и их гибридов F<sub>1</sub>. На первых стадиях развития установлена значительная дифференциация родительских видов и гибридов по скорости развития. По данному параметру у гибридов выявлен материнский эффект. Однако, к стадии малька все группы рыб приходили синхронно. Экспрессия изоферментов с ранней активацией носила асинхронный матроклинный характер, обусловленный наличием метаболической материнской среды; экспрессия изоферментов с поздней активацией – синхронный характер, обусловленный исчерпанием запасов материнских белков и формированием собственной метаболической среды. К моменту достижения стадии малька работа отцовских и материнских генов у гибридов синхронизировалась, что обеспечивало формирование полных изоферментных спектров. Анализ выживаемости личинок и сеголетков, подвергшихся действию пестицидов, позволил установить цитоплазматическую основу материнского эффекта по параметру устойчивости к пестицидам на ранних этапах развития и отцовский характер наследования по данному параметру на стадии сеголетков.

Устойчивость зародыша к внешним воздействиям обусловлена интегральной сбалансированностью скоростей морфогенетических и метаболических процессов [10]. Отсутствие или нарушение такой сбалансированности при воздействии ряда факторов приводит, как правило, к увеличению числа фенотипических отклонений или смертности [4]. В случае межвидовых гибридов неполная совместимость геномов родительских видов может приводить к асинхронности генной экспрессии и процессов морфогенеза и как следствие – к повышению смертности гибридов по сравнению с родительскими видами. Так, на межродовых гибридах первого поколения леща и плотвы показано, что значительный отход имел место в момент и после прохождения стадии бластулы [13]; вторым значимым этапом по величинам отхода являлась стадия выклева и третьим – полное рассасывание желточного мешка и переход на внеш-

нее питание. Повышенная смертность гибридов на стадии бластулы связана с активацией ядерных генов зародыша [7], на стадии личинки – с активным расходом материнских белков и их замены на белки зародыша [8]. Как правило, после достижения скоординированности работы геномов родительских видов процессы развития гибрида проходят более синхронно и устойчиво [1, 2, 3, 5, 13, 17].

Основная цель настоящей работы – оценка влияния внутриклеточных (цитоплазматических) и внешних воздействий на экспрессию водорастворимых изоферментов, скорость эмбрионального развития леща, плотвы, их гибридов первого поколения  $F_1$  и определение времени достижения ими метаболического гомеостаза. В качестве цитоплазматических факторов рассмотрены материнские белки желтка и хаус-киппинг ферменты, в качестве факторов внешней среды – фосфорорганические и карбамидные пестициды.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения сравнительного материала по механизмам раннего развития, гомеостаза и анализа закономерностей наследования использовали гибридологический метод. За период 1999–2001 гг. осуществлена постановка 3 серий экспериментов по индивидуальному скрещиванию плотвы и леща (табл. 1).

**Таблица 1.** Варианты экспериментальных скрещиваний за период 1999–2001

Год скрещивания	Полученные варианты			
	ЛЛ	ПП	ПЛ	ЛП
1999	+	+	+	+
2000	+	+	+	+
2001	+	+	+	+

Оплодотворение проводили сухим способом [11]. Для исследования скорости развития и генетико-биохимического анализа сбор материала проводили на следующих стадиях эмбрионального развития: яйцеклетка перед оплодотворением, после оплодотворения – образование перивителлинового пространства и бластодиска, дробление, бластула, гастрюла, формирование головного и туловищного отделов, начало сегментации туловищного отдела (3–5 сегментов), разгар сегментации тела (18–25 сегментов), установление кровообращения и окончание сегментации хвостового отдела, начало выклева, массовый выклев, эмбрион после выклева (этап эндогенного питания), этап смешанного питания, полное рассасывание желточного мешка и переход

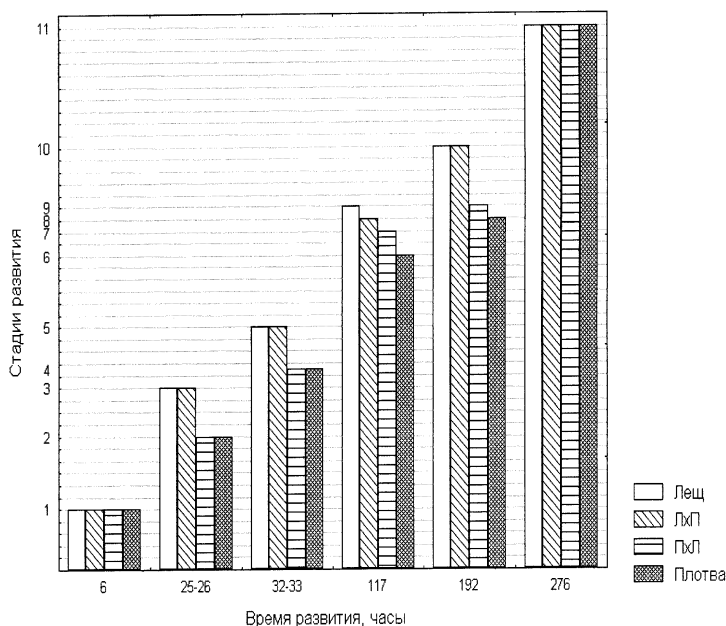
личинки на экзогенное питание, малек [5]. Для верификации результатов по эмбриогенезу, завершающим этапом являлся сбор и обработка материала по всем группам рыб на стадии сеголетка, когда процесс морфогенеза у рассматриваемых видов рыб в основном завершается. С целью выявления закономерностей наследования и процессов внутриклеточного метаболизма проведен анализ по одному неферментному белку (общий белок GP) и 3 изоферментным локусам, имевшим разное время активации в эмбриогенезе [8]: лактатдегидрогеназе (Ldg), аспаратаминотрансферазе (Aat),  $\beta$ -эстеразе ( $\beta$ -Est). Для анализа использовали следующие электрофоретические методы: диск – электрофорез в 6%-ном ПААГ [14, 18], градиентный 3–20% ПААГ [15], SDS [16]. Определение изоферментов и общего белка проводили по стандартным прописям [12]. Величину оплодотворяемости рассчитывали путем прямого подсчета зигот, выживаемости – путем подсчета икринок, в процентах от предыдущей стадии развития. При построении кривых выживаемости процент выживших особей рассчитывали от исходного количества зигот, принимаемого за 100%.

Для анализа устойчивости метаболической среды зародыша и оценки роли материнских белков в динамике активации материнских и отцовских аллелей, зародышей чистых видов и реципрокных гибридов  $F_1$  подвергали стресс-воздействию. В качестве последнего использовали фосфорорганический пестицид ДДВФ. Контроль наследственной обусловленности устойчивости к действию стресс – фактора осуществляли на стадии сеголетка. В этом случае для подтверждения характера наследования устойчивости к стресс – воздействию помимо ДДВФ использовали карбамидный пестицид севин. На ранних стадиях развития эксперименты проводились в 2 повторностях по каждой группе. На стадии сеголетка эксперименты проводились в 2 повторностях по ДДВФ и 1 повторности по севину. В каждой повторности опыта ДДВФ использовали в 2 концентрациях: 20 и 50 мг/л. Севин использовали также в 2 концентрациях: 15 и 30 мг/л. Результат воздействия по каждой группе оценивали по времени гибели 50% особей ( $TL_{50}$ ). Для каждой серии опытов на эмбриональной стадии использовали по 20 экземпляров особей, а на стадии сеголетков – по 60 экземпляров.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ относительной скорости прохождения различных стадий эмбриогенеза чистых видов плотвы, леща и гибридов ЛхП и ПхЛ от момента оплодотворения до стадии малька показал, что по структурным и функциональным показателям (скорость развития и формирования основных частей тела) лещ опережает плотву до

стадии полного выпрямления головы эмбриона (личинка через 24 часа после выклева) включительно (Рис. 1).



**Рис.1.** Последовательность достижения стадий раннего развития леща, плотвы и их гибридов  $F_1$ . Стадии развития: 1 – бластула, 2 – гастрюла, 3 – формирование головного и туловищного отделов, 4 – начало сегментации туловищного отдела (3–5 сегментов), 5 – разгар сегментации тела (18–25 сегментов), 6 – установление кровообращения и окончание сегментации хвостового отдела, 7 – начало выклева, 8 – массовый выклев, 9 – эмбрион после выклева (этап эндогенного питания), 10 – этап смешанного питания, 11 – этап экзогенного питания.

По темпам достижения ранних стадий эмбриогенеза, времени и особенностям морфогенеза гибриды ЛхП опережают гибридов ПхЛ, что свидетельствует о наличии материнского эффекта. По мере прохождения последующих стадий, скорости развития, как родительских видов, так и гибридов синхронизируются. Можно констатировать, что стадия эмбриона с зачатком плавательного пузыря достигается одновременно лещом, плотвой и их реципрокными гибридами  $F_1$ .

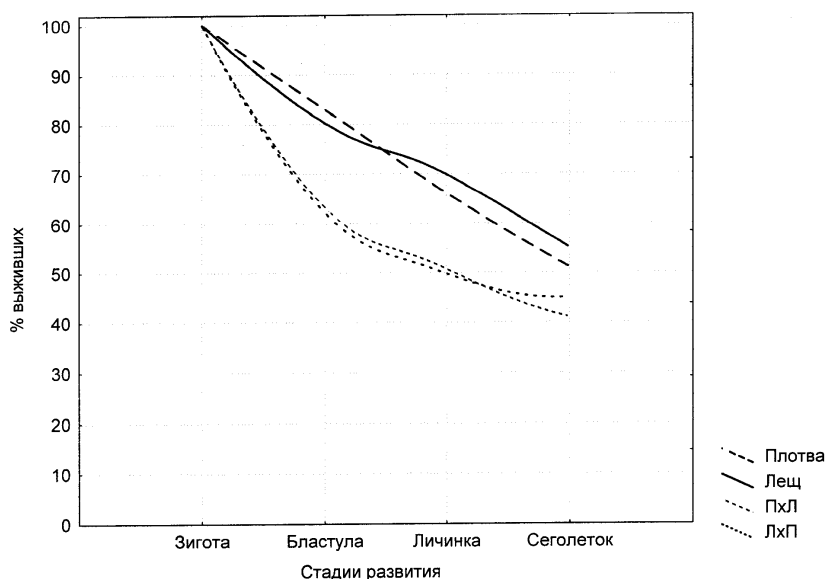


Данные по показателям выживаемости чистых видов и гибридов F<sub>1</sub> на ранних стадиях развития (табл. 2) подтверждают ранее полученные результаты, что основной критической стадией в развитии как родительских видов, так и гибридов является стадия бластулы.

**Таблица 2.** Выживаемость в раннем развитии сибсов плотвы, леща и их гибридов F<sub>1</sub>.

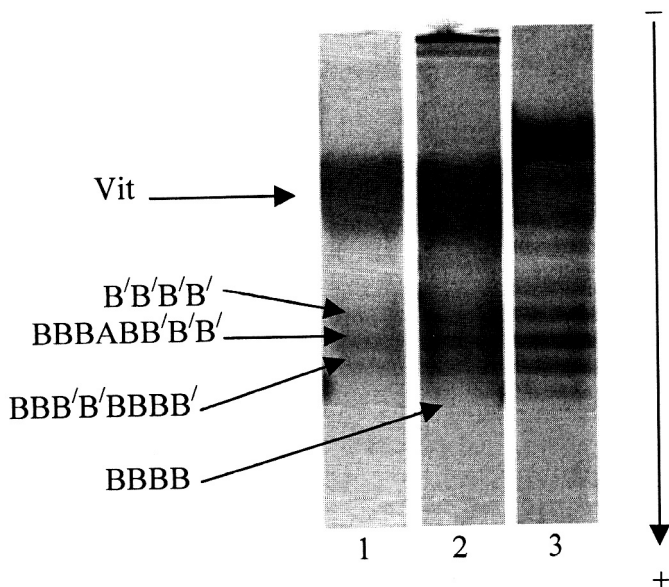
Серия	Оплодотворяемость (кол-во зигот)	Кол-во живых икринок на стадии бластулы		Кол-во живых личинок		Кол-во личинок, высаженных в пруд	Выращено сеголетков	
		шт.	%%	шт.	%%		шт.	%%
П-1	4356	3672	84.2	2971	80.9	600	487	81.1
П-2	2542	2097	82.5	1674	79.8	400	352	88.0
Л-1	3876	2980	76.9	2417	81.1	600	491	81.8
Л-2	2314	1895	81.8	1612	85.1	300	262	87.3
ПхЛ-1	871	548	62.9	450	82.1	450	423	94.0
ПхЛ-2	1906	1210	63.5	955	78.9	600	569	94.8
ЛхП-1	1382	863	62.4	699	81.0	600	538	89.7
ЛхП-2	2658	1654	62.2	1462	88.4	300	247	82.3

При этом у гибридов доля летелей превышает соответствующую долю у родительских видов (Рис. 2).



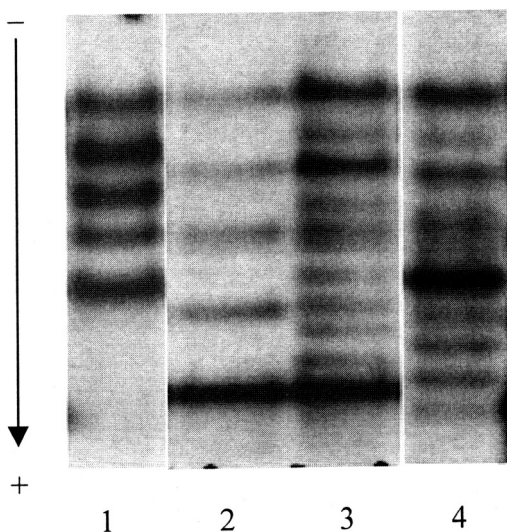
**Рис.2.** Средние кривые выживаемости сибсов плотвы, леща и их гибридов  $F_1$ .

Анализ экспрессии изоферментов у исследуемых чистых видов и реципрокных гибридов установил, что LDH и  $\beta$ -EST активируются раньше ААТ. Ранняя экспрессия LDH выявлена на внутривидовом уровне при анализе гетерозиготных по локусу В зародышей плотвы (ПхП) на стадии дробления (Рис.3).



**Рис.3.** Динамика спектров изоферментов ЛДГ в ходе раннего развития плотвы. 1 – стадия дробления, 2 – гастрюляция, 3 – эмбрион после выклева. Условные обозначения: Vit – липовителлин, B'/B'/B'/B'BBBB – изоферменты ЛДГ.

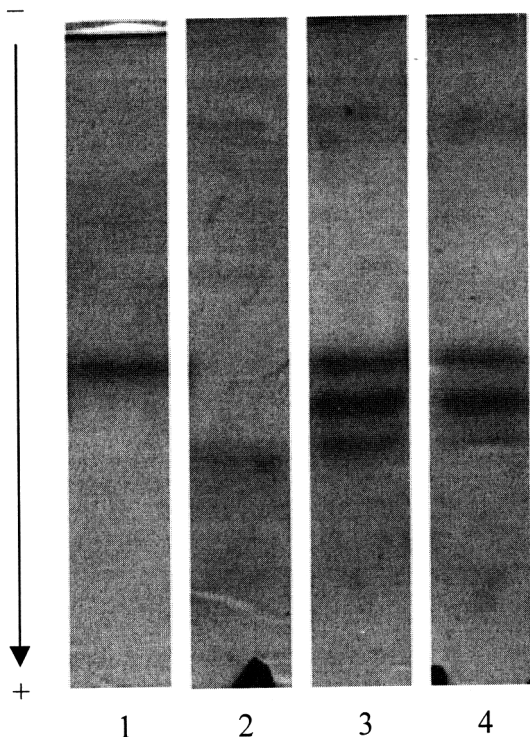
Обнаружение факта ранней экспрессии LDH не противоречит традиционным представлениям об обеспечении энергетических потребностей зародыша только за счет материнского фермента [4, 5, 6, 8], а лишь свидетельствует о том, что на первых этапах развития пул LDH создается не только ооцитарным, но и зародышевым ферментами. В формировании изоферментных спектров LDH у гибридов ЛхП и ПхЛ отчетливо прослеживался материнский эффект, проявляющийся в первоочередной активации аллелей локусов В и А матери, и только по ее завершению, включением в работу генов отца. Полная синхронизация работы материнских и отцовских аллелей Ldh достигалась на стадии малька (Рис. 4).



**Рис. 4.** Электрофоретические спектры ЛДГ на стадии малька: 1 – плотва, 2 – лещ, 3 – ЛхП, 4 – ПхЛ.

Экспрессия  $\beta$ -эстеразы у гибридов на ранних стадиях развития (до стадии выклева) также подчинялась материнскому эффекту, заключавшемуся в характере распределения эстеразной активности по материнскому типу. На стадии массового выклева экспрессия материнских и отцовских аллелей  $\beta$ -эстеразы гибридов была синхронна. Начало активации ААТ приходилось на стадию эмбриона перед выклевом, и характеризовалась синхронным включением материнских и отцовских генов (Рис. 5)

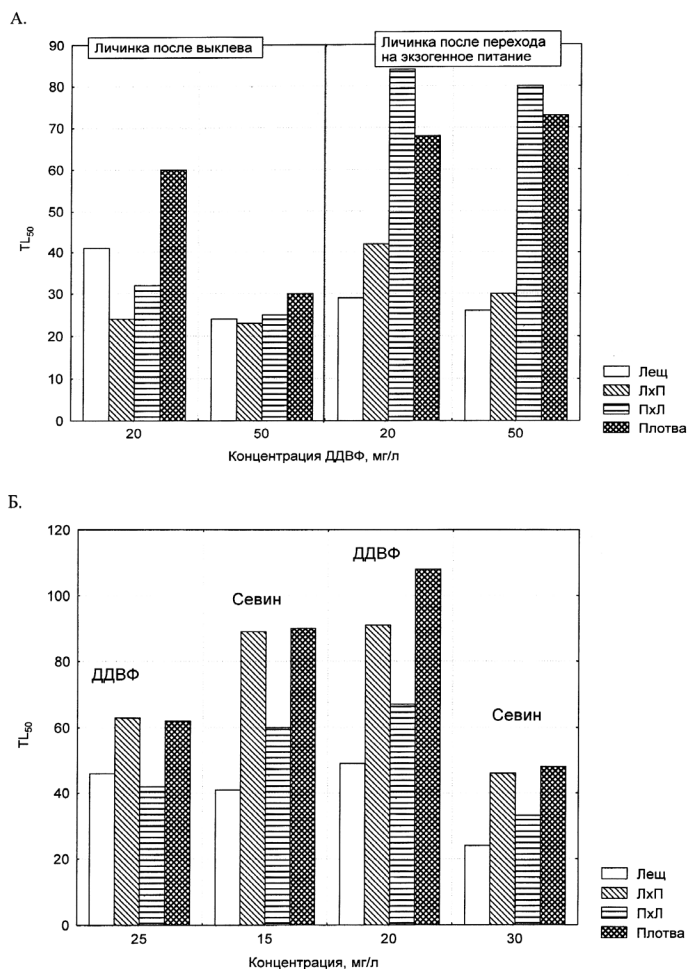
Таким образом, экспрессия ферментов с ранней активацией имела отчетливый матроклинный характер, что, вероятно, связано с наличием метаболической среды, состоящей в основном из материнских белков. Подтверждением этому являлось отсутствие материнского эффекта в случае экспрессии фермента с поздней активацией ААТ, что связано, по-видимому, с исчерпанием запасов материнских белков. По мере развития зародыша происходит количественное расходование желточных белков и последовательное усиление работы собственных ядерных генов. Как следствие, происходит формирование собственной метаболической среды, способствующей вступлению в работу отцовских генов.



**Рис.5.** Электрофоретические спектры ААТ на стадии эмбриона после выклева: 1 – плотва, 2 – лещ, 3 – ЛхП, 4 – ПхЛ.

Поэтому материнские и отцовские гены изоферментов с поздней активацией, экспрессируются как правило синхронно. Синхронизация работы разных геномов в организме гибридов по мере развития совпадает по времени с наблюдаемым нами исчезновением дифференциации по скорости развития гибридами и чистыми видами. У рассматриваемых видов и гибридов  $F_1$  на стадии малька осуществляется практически полная генетико-биохимическая и морфогенетическая синхронизация. Косвенным подтверждением ведущей роли внутриклеточного метаболизма в обеспечении гомеостаза служат полученные нами данные по отсутствию сколь-либо значимого действия стресс-фактора ДДВФ на экспрессию ферментов выживших личинок. Наблюдаемое на ранних стадиях понижение выживаемости можно рассмат-

ривать как своего рода показатель снижения генетического гомеостаза и гомеостаза развития [4]. При анализе устойчивости к действию пестицидов на личинок, находящихся на стадиях выклева и перехода на экзогенное питание, а также на сеголетков установлено, что на стадиях личинки данный параметр характеризуется материнским эффектом, а на стадии сеголетка – отцовским (Рис. 6).



**Рис.6.** Устойчивость леща, плотвы и их гибридов  $F_1$  к действию карбамидных (севин) и фосфорорганических (ДДВФ) пестицидов на ранних стадиях развития: А – личиночные стадии, Б – стадия сеголетка.

Корреляция устойчивости с наличием (у личинки) или отсутствием (у сеголетка) желтка позволяет предположить, что материнский эффект по параметру устойчивости к действию химических стресс-факторов имеет цитоплазматическую природу, а отцовский эффект – наследственную. Мы полагаем, что функционирование сложной системы генетических регуляторных механизмов, приводящее к полной синхронизации работы структурных генов во многом определяет достижение биохимического и морфобиологического гомеостаза.

## ВЫВОДЫ

1. На эмбриональных стадиях развития выявлена дифференциация леща, плотвы и их гибридов по скорости развития. У гибридов данный параметр характеризуется материнским эффектом. По мере достижения следующих стадий различия в скорости развития уменьшаются и стадия малька достигается всеми анализируемыми группами синхронно.

2. Экспрессия изоферментов с ранней активацией носила асинхронный матроклиный характер, связанный с наличием метаболической среды, состоящей из материнских белков; экспрессия изоферментов с поздней активацией – синхронный характер, связанный, по-видимому, с исчерпанием запасов материнских белков и формированием собственной метаболической среды. К моменту достижения мальковой стадии работа отцовских и материнских генов зародыша синхронизировалась, что обеспечивало формирование полных изоферментных спектров.

3. На стадии малька отмечена сбалансированность метаболических и морфогенетических процессов у гибридов и достижение гомеостаза развития.

4. Устойчивость личинок и сеголетков к действию пестицидов, характеризовалась материнским эффектом на ранних этапах развития и наследованием по отцу на стадии сеголетков.

5. Матроклиность экспрессии изоферментов, скорости развития и устойчивости к пестицидам на ранних стадиях развития имеет цитоплазматическую природу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева А.М., Басова Е.Е., Слынько Ю.В Особенности временной экспрессии изоферментов ЛДГ,  $\beta$ -EST и AAT у плотвы *Rutilus rutilus* (L.), леща *Abramis brama* (L.), синца *Abramis ballerus* (L.) и их гибридов // Мат. Международной конференции студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «Ломоносов», М., МГУ,

- вып.4., 2000. С. 9–10.
2. Басова Е.Е. Особенности экспрессии генов Ldg и Aat у реципрокных гибридов плотвы *Rutilus rutilus* (L.) и леща *Abramis brama* (L.) // Сб. Тез. XI Всероссийской конференции молодых ученых Биология внутренних вод. Борок, Ин-т биологии внутр.вод РАН, 1999. С. 33.
  3. Басова Е.Е., Андреева А.М. Особенности экспрессии ЛДГ в раннем развитии плотвы *Rutilus rutilus* (L.), леща *Abramis brama* (L.), синца *Abramis ballerus* (L.) и их гибридов F<sub>1</sub> // Сб. Тез. VII Молодежной научной конференции Актуальные проблемы биологии и экологии. Сыктывкар: Сыктывкар. ун-т, 2000, вып. 2. С. 12–13.
  4. Кирпичников В.С. Генетика и селекция рыб. Л.: Наука, 1987. 520 с.
  5. Крыжановский С.Г. Эколого-морфологические закономерности развития карповых, вьюновых и сомовых рыб (Cyprinoidei и Siluroidei), М.–Л: Изд-во Акад. наук СССР, 1949, вып 1, 350с.
  6. Корочкин Л.И. Некоторые молекулярные аспекты регуляции экспрессии генов у рыб и других эукариот // Биологические основы рыбоводства: генетика и селекция. Л. Наука, 1983. С. 34–51.
  7. Корочкин Л.И. Введение в генетику развития. М.: Наука, 1999. 252 с.
  8. Конохов Б.В. Генетика развития позвоночных. М.: Наука, 1980. 292 с.
  9. Нейфах А.А., Тимофеева М.Я. Молекулярная биология процессов развития. М.: Наука, 1977. 311 с.
  10. Нейфах А.А., Тимофеева М.Я. Регуляция активности ферментов в развитии животных // Биохимическая и популяционная генетика рыб. Л.: Сб. научных статей, 1979. С. 18–23.
  11. Новиков Г.Г. Рост и энергетика развития костистых рыб в раннем онтогенезе. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 295 с.
  12. Рябов И.Н. Методы гибридизации рыб на примере семейства карповых // Исследование размножения и развития рыб. М.: Наука, 1981. С. 195–215.
  13. Серов О.Л., Корочкин Л.И., Манченко Г.П. Электрофоретические методы исследования изоферментов // Генетика изоферментов. М.: Наука, 1977. С. 18–65.
  14. Слынько Ю.В. Система размножения межродовых гибридов плотвы *Rutilus rutilus* (L.), леща *Abramis brama* (L.), синца *Abramis ballerus* (L.) (Leuciscinae: Cyprinidae) // Автореф., Санкт-Петерб. Гос. Универ., 2000.
  15. Davis B.J. Disc – electrophoresis.II. Method and application to human serum proteins // Ann.N.Y. Acad. Sci., 1964, vol. 121, pp 404–427.
  16. Kopperschlander G. et al. Molecular weiths bestium yongen durch polyacrylamid gel electrophorese unter verwendurg lines linearen gel



- gradient // FEBS Lett., 1969, v.5, pp 221–227.
17. Laemmly U.K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage // Nature, 1970, 4, 227, 5229, pp 680–685.
  18. Lapushkina E.E., Andreeva A.M., Slynko Y.V. The expression of b-esterase loci in early developmental stages of bream (*Abramis brama* L.), roach (*Rutilus rutilus* L.), blue bream (*Abramis ballerus* L.) and their direct and reciprocal F<sub>1</sub> hybrids // Book of Abstracts X European congress of ichthyology (Prague, Czech Rep., September 3–7, 2001) Prague, 2001, p. 147.
  19. Ornstein L. Disc electrophoresis. I. Background and theory // Ann.N.Y. Acad. Sci., 1964, pp 321–349.

## **СТРУКТУРНО–ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ГРУПП В ЗООПЛАНКТОНЕ МЕЗОТРОФНОГО ОЗЕРА (НА ПРИМЕРЕ ОЗ. КРАСНОЕ)**

**Е.С. Макарецва, Д.С. Бардинский**

Институт Озёроведения РАН, С.-Петербург, 196105,

ул. Севастьянова, д. 9

E-mail: denn7@hotmail.ru

В течение июня – октября 2000 г. в планктоне мезотрофного озера Красного исследованы численность, биомасса, продукция, дыхание и рацион простейших, коловраток и ракообразных. Наибольшее значение в продуцировании и декструкции органического вещества имеют ракообразные (92% суммарной биомассы, 53% продукции).

При небольшом количестве в озере инфузорий (7% биомассы зоопланктона), ими создаётся до 36% общей продукции, на 43% увеличивается рацион мирной части сообщества, на 17% дыхание. Из-за низкого уровня развития в 2000 г коловраток, роль их в планктоне была наименьшей.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Изучение структуры планктонных сообществ имеет большое значение для познания процессов функционирования водных экосистем, важным гетеротрофным звеном которых является зоопланктон. Известно, что основную биомассу сообщества создают ракообразные

Однако быстрое размножение и высокая скорость роста коловраток и простейших способствуют тому, что создаваемая мелкой фракцией продукция соизмерима, а иногда и выше продукции крупного планктона [9, 15].

Цель работы – оценить структурно-функциональную роль каждой из трёх таксономических групп зоопланктона в создании (биомасса и продукция), и разрушении (дыхание, рацион) органического вещества в мезотрофном озере Красном – типичном водоеме Карельского перешейка, мониторинг экосистемы которого проводится с 1963 года по настоящее время.

Общая характеристика озера и результаты исследований всех элементов его экосистемы в разные периоды эволюции изложены в ряде монографий [10, 13, 16]. Изменения сообщества зоопланктона оз. Красного в многолетнем ряду прослежены в основном для сетного планктона: ракообразных и коловраток [2, 14].

В период 1977–1979 гг. И.Н. Андрониковой эксперсс-методом

доля инфузорий в озере в биомассе метазойного планктона была определена в 10% и 75% от продукции фильтратов [3].

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В 2000 г. с 5 июня по 15 октября дважды в месяц на центральной станции глубиной 10 м отбирали метазойный планктон сетью Джеди (газ 58) через каждые 2 м. С этих глубин одновременно собирали пробы воды батометром Руттнера с последующим отстаиванием после формалиновой фиксации, в этих пробах учитывали коловраток. Простейших в живом виде подсчитывали в нефиксированных пробах. Простейшие организмы представлены в планктоне оз. Красного в основном ресничными инфузориями. Расчёт биомассы метазоопланктона производился по формулам связи длины массы организмов [5]. Продукция всех таксономических групп рассчитывалась по уравнению балансового равенства, с учетом дыхания различных размерно-возрастных групп популяций [11]. Использовались следующие величины  $K_2$ , рекомендованные И.Н. Анрониковой для озера Красного: Protozoa – 0.5, Rotatoria – 0.4, Cladocera – 0.35, Diaptomidae – 0.25, Cyclopoidae – 0.13 [1]. Калорийность была принята 0.55 ккал/г для зоопланктона, 0.9 ккал/г – для инфузорий.

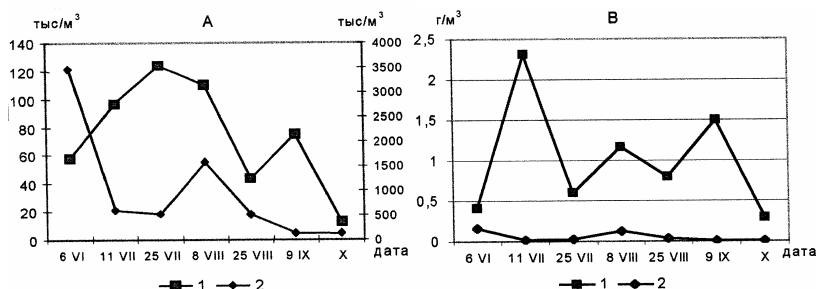
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными структурообразующими видами метазоопланктона оз. Красного служат ракообразные *Mesocyclops leuckarti* Claus, *Eudiaptomus gracilis* Sars, *Daphnia cristata* Sars, *Daphnia galeata* Sars, *Bosmina coregoni* (Baird), *Bosmina longispina* Leydig, *Djapnanosoma brachyurum* (Lievin). Большую часть биомасс коловраток образуют *Kellicottia longispina* (Kellic.), *Conochilus unicornis* Rouss, *Filinia lonsiseta* (Ehrenb.), *Polyarthra vulgaris* Carlin. Немногочисленная крупная *Asplancha priodonta* Gosse была отнесена к метазоопланктону. Массовыми видами протозоопланктона были инфузории: *Urotricha farcta* Clapere de et Lachmann (фракция до 40 мкм), *Strobilidium velox* Faure-Fremiet, *Strombidium mirabile* Penard, *Tintinopsis cratera* Nada (фракция 40–100 мкм), *Strombidium virida* Stein, *Stokesia vernalis* (фракция от 100 мкм до 200 мкм).

Вегетационный сезон 2000 г. отличался низким уровнем развития зоопланктона, средняя биомасса которого составила  $1.2 \text{ г/м}^3$ , что почти в 2 раза ниже, чем в 70–80-е годы XX века – в период наибольшего эвтрофирования озера. Особенно резко уменьшилась численность коловраток. В период сезонного максимума в начале июня их среднесезонная численность в 80-х годах составляла  $72.0\text{--}560.0 \text{ тыс.экз./м}^3$ , в 90-е годы она снизилась до  $11.0\text{--}53.0 \text{ тыс.экз./м}^3$ . Сниже-

ние общей численности зоопланктона в 90-е годы отмечали также для Ладожского озера [12], озер Белое, Лаче, Воже, Кубенского [6], Рыбинского водохранилища [8]. Уменьшение общей биологической продуктивности оз. Красное в последние годы возможно связано с прекращением хозяйственной деятельности на его водосборе.

Первые пробы зоопланктона в 2000 г. были взяты 5 июня. По структуре, распределению в толще воды и уровню продуктивности сообщества это соответствовало фазе поздней биологической весны [13]. Небольшую биомассу метазоопланктона ( $0.41 \text{ г/м}^3$ ) формировала размножающаяся популяция *Mesocyclops leuckarti* Claus и старшие копеподиты *Cyclops strenuus* Fisch и *C. kolensis* Lill, поднявшимися из пелогена в толщу воды озера. Численность коловраток в это время была низкой ( $100 \text{ тыс./м}^3$ ). В массе развивались мелкие (до  $40 \text{ мкм}$ ) инфузории *Urotricha farcta*, *S. virida f. pelagica* Kahl., *Halteria grandinella* (O.F. Muller), которые образовали свой первый сезонный максимум численности и биомассы ( $3.4 \text{ млн./м}^3$ ,  $0.16 \text{ г/м}^3$ ) (рис 1 А, В).



**Рис. 1.** Сезонная динамика численности (А) и биомассы (В) протозойного и метазойного планктона оз. Красного. 1 – метазоопланктон, 2 – протозоопланктон.

Биомасса инфузорий составляла почти 40% от биомассы ракообразных и 28% от суммарной биомассы всего зоопланктона, их продукция в 2.5 раза превышала продукцию фильтраторов мезапланктона и в 2.1 раза их рацион (рис. 2, 3). Поздняя весна – период максимального вклада инфузорий в общие функциональные показатели сообщества зоопланктона.

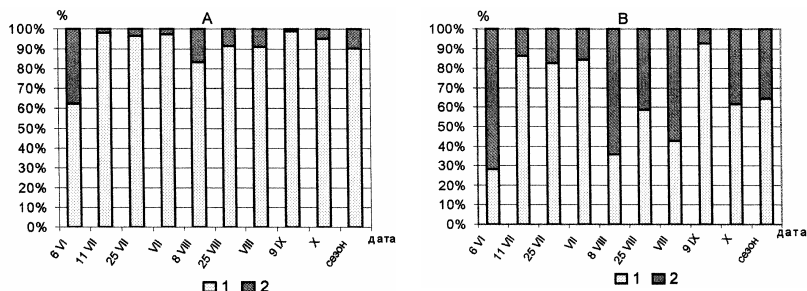


Рис. 2. Соотношение биомассы (А), продукции (В) протозойного и метазойного планктона оз.Красного. 1 – метазоопланктон, 2 – протозоопланктон

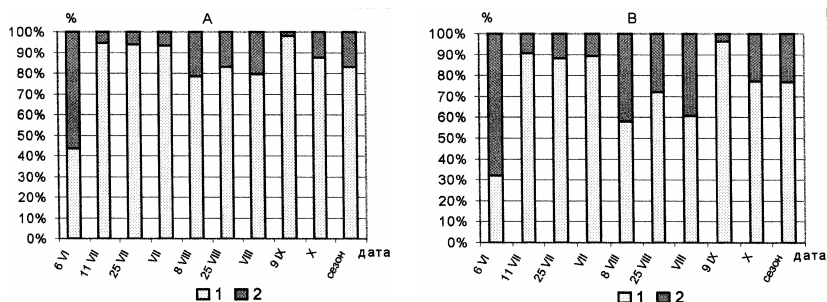


Рис. 3. Соотношение показателей дыхания (А) и рациона (В) протозойного и метазойного планктона. 1 – метазоопланктон, 2 – протозоопланктон

Прогрев воды до 20.0°C и установление температурной стратификации в начале июля привело к энергичному росту и размножению коловраток и ветвистоусых ракообразных *Daphnia galeata* Sars, *Bosmina coregoni* Baird, *Bosmina longispina* Leydig. Это способствовало увеличению биомассы зоопланктона до 1.8 г/м<sup>3</sup>. Растущая конкуренция за пищевые ресурсы привела к резкому снижению в июле численности инфузорий до 0.6 млн./м<sup>3</sup> и биомассы до 0.02 г/м<sup>3</sup> (рис. 1 А, В).

Вклад инфузорий в продукцию, дыхание и общий рацион сообщества также уменьшился соответственно 16%, 7% и 12%. В первой декаде июля отмечен небольшой пик численности коловраток (52.0 тыс./м<sup>3</sup>), коловратки формировали менее 1% от суммарной биомассы и не более 2% от суточной продукции зоопланктона.

Такая ситуация была характерна до первой декады августа. В августе численность инфузорий вновь возрасла (1.5 млн./м<sup>3</sup>), а биомас-

са достигла  $0.13 \text{ г/м}^3$  за счет развития форм длиной до  $100 \text{ мкм}$  *Strobilidium velox*, *Strombidium mirabile*. Биомасса ракообразных снизилась в это время до  $0.8 \text{ г/м}^3$  из-за изменения структуры популяций. Основу зоопланктона в это время образовывали науплиусы и копеподиты диаптомусов и циклопов, размеры которых невелики. Доля инфузорий в биомассе зоопланктона увеличилась до 11%, а их продукция вдвое превышала продукцию ракообразных.

В целом, в июле – августе в период наибольшего развития тепловодного комплекса ракообразных, биомасса, продукция и рацион инфузорий составили в среднем соответственно 20%, 50% и 30% от общих характеристик зоопланктона (рис. 1, 2, 3). Инфузории выедали до 43% среднесуточной продукции, которая в середине лета составила  $345 \text{ мг/м}^3$  (данные по бактериопланктону приведены Е.Н. Чеботарёвым в отчёте ин-та Озёроведения РАН за 2000 г.).

В середине сентября толща воды охладилась до  $13.0^\circ\text{C}$ . В планктоне еще сохранялся летний комплекс ветвистоусых ракообразных и высокая общая биомасса ( $1.5 \text{ г/м}^3$ ). Количество инфузорий было наименьшим в сезонном цикле ( $0.13 \text{ млн./м}^3$  и  $0.01 \text{ г/м}^3$ ). Продукция инфузорий не превышала 8%, рацион 4% от соответствующих показателей ракообразных (рис. 2, 3). Функциональная роль ракообразных осенью вновь увеличилась.

Октябрь 2000 г. был более тёплым, чем в предыдущие годы. В озере сохранялся комплекс ветвистоусых ракообразных, которые наряду с копеподами второй генерации *Eudiaptomus gracilis* образовывали основу биомассы зоопланктона, абсолютные значения биомассы зоопланктона были низкими. Несмотря на низкую биомассу доля инфузорий достигла 67% продукции зоопланктона, рацион – 31%. Функциональные показатели развития инфузорий поздней осенью сходны с таковыми во второй половине лета.

Таким образом, в мезотрофном оз. Красном в годы с низким уровнем развития коловраток, доля которых в продукции в течение сезона не превышала 2%, основной вклад в образование и разрушение органического вещества зоопланктона вносили ракообразные и инфузории (табл.1).

**Таблица 1.** Функциональные характеристики зоопланктона оз. Красного за период июнь-октябрь 2000 г. В числителе – В – биомасса, Р – продукция, R – дыхание, С – рацион в ккал/м<sup>3</sup>. В знаменателе – % от общих показателей.

Группа	В	Р	R	С
Коловратки	<u>0.005</u> менее 1	<u>0.150</u> 1	<u>0.22</u> 1	<u>0.62</u> 1
Ракообразные мирные	<u>0.56</u> 75	<u>7.0</u> 53	<u>18.6</u> 64	<u>42.7</u> 61
Ракообразные хищные	<u>0.13</u> 17	<u>1.3</u> 10	<u>5.2</u> 18	<u>8.1</u> 11
Инфузории	<u>0.054</u> 7	<u>4.8</u> 36	<u>4.8</u> 17	<u>19.2</u> 27

Значение инфузорий максимально весной, в это время их продукция в 2 раза продукцию метазойного зоопланктона. В течение лета вклад рачков и простейших в функционирование сообщества изменилось в зависимости, как от обилия инфузорий, так и от структуры популяций ракообразных. Продукция инфузорий составляла за летний период 51% от суммарной продукции зоопланктона. Но по среднесезонным данным основная роль в трансформации органического вещества все-таки принадлежит ракообразным, особенно факторам, которые формируют 53% суммарной продукции, 64% – дыхания, 61% – рациона всего зоопланктона.

В общей биомассе сообщества инфузории составляли лишь 7%, но их функциональная роль существенна. Создаваемая ими продукция составила 36% общей и 68% продукции ракообразных в среднем за сезон. Суммарное дыхание и рацион мирной части сообщества за счет инфузорий возрастали на 17% и 43% соответственно (табл. 1).

Наши данные близки к полученным И.Н. Андрониковой [4]. Они характеризуют функционирование сообщества зоопланктона при низком уроне развития коловраток. При высокой численности коловраток в 70–80-е годы (среднее за сезон 103.0 тыс./м<sup>3</sup>) их функциональные показатели в сообществе были существенно выше. Многочисленные литературные и собственные данные авторов подтверждают необходимость учёта мелкой фракции планктона при анализе трофических взаимодействий внутри экосистемы в различные сезоны года. По данным П.Я. Лаврентьева [7] суточная продукция инфузорий близка или превышает продукцию фильтраторов даже в том случае, если их биомасса составляет не более 5% общей биомассы зоопланктона.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 01–04–49592.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. *Андроникова И.Н.* Продукция зоопланктона в кн.: «Биологическая продуктивность озера Красного» // 1976, Л-д, «Наука», с. 160–178.
2. *Андроникова И.Н.* Изменение сообщества зоопланктона в связи с процессом эвтрофирования. // Эвтрофирование мезотрофного озера. 1980, Л-д, «Наука», с. 78–99.
3. *Андроникова И.Н.* Соотношение биомассы протозойного и метазойного планктона как экспресс метод для расчёта продукции простейших в озёрах разного трофического типа. // Методы изучения состояния кормовой базы рыбохозяйственных водоёмов. Сборник научных трудов ГОСНИОРХ, 1983, вып. 196, с. 50–57
4. *Андроникова И.Н.* Участие зоопланктона в процессах трансформации органического вещества. // Особенности формирования качества воды в разнотипных озёрах Карельского перешейка. 1984, Л., «Наука», 238–256.
5. *Балушкина Е.В., Винберг Г.Г.* Зависимость между длиной и массой тела планктона ракообразных. // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озёр. 1979, Л. с. 58–79.
6. *Думнич Н.В., Болотова Н.Л.* Изменение зоопланктона крупных озёр Вологодской области за двадцатилетний период. // Материалы VII съезда ВГБО. 1996, Казань, т.2, с. 19–20.
7. *Лаврентьев П.Я.* Сообщество планктонных инфузорий субарктических тундровых озёр, структура, роль в экосистеме, реакция на антропогенное воздействие. // Сборник научных трудов ГОСНИОРХ, 1989, вып. 292, с. 110–121.
8. *Лазарева В.И., Лебедева И.М., Овчинникова Н.К.* Изменения в сообществе зоопланктона Рыбинского водохранилища за 40 лет. // Биология внутренних вод. 2001, №4, с. 46–58. 9
9. *Локоть Л.И.* Продуктивность свободноживущих планктонных инфузорий. // Проблемы гидроэкологии на рубеже веков. Международная Конференция, С.–Петербург, 23–30 октября, 2000, с. 101–102.
10. Методические аспекты лимнологического мониторинга. // Л. «Наука», 1988, с. 176.
11. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. // Зоопланктон и его продукция. 1982, Л. с. 33.
12. *Огородникова В.А.* Характеристика видовой структуры и функ-



- ционирование сообщества зоопланктона южной части Ладожского озера в многолетнем аспекте. // Влияние теплового и органического загрязнения на биоту водоёмов-охладителей. 1995, сб.: «ГОС-НИОРХ», вып. 34, с. 192–231.
13. Озёра Карельского перешейка // Лимнологические циклы озера Красного. 1971, Л., «Наука», с. 529.
  14. Родионова Н.В. Изменение численности, биомассы и продукции зоопланктона. // Методические аспекты лимнологического мониторинга. 1988, Л., «Наука», с. 85–93.
  15. Хлебович Т.В. Структурно-функциональная роль планктонных инфузорий в разнотипных озёрах южной Карелии. // Реакция озёрных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. 1997, с. 62–71.
  16. Эвтрофирование мезотрофного озера. // 1980, Л., «Наука», с. 239.

## **STRUCTURE AND FUNCTIONAL ROLE OF DIFFERENT TAXONOMIC GROUPS IN ZOOPLANKTON OF A MESOTROPHIC LAKE (LAKE KRASNOE)**

**E.S. Makarceva, D.S. Bardimky**

*Institute of Limnology (Russian Academy of Sciences),  
196105, St.-Peterberg, Russia*

The role of Protozoa Rotatoria and Crustacea in plankton of the mesotrophic Lake Krasnoe have been analysed since June to October 2000. Such indices as number, biomass, production, respiration and ration have been analysed. The Crustacea contribute the most important part of production and destruction of organic matter (92% total biomass and 53% production). The biomass of Infusoria in the Lake Krasnoe was 7% of total zooplankton biomass, but they created about 36% of the total production of zooplankton, what increased total ration of herbivorous zooplankton up to 43% and total zooplankton respiration up to 17%. The contribution of Rotatoria in transformation of organic matter in 2000 year was insignificant due to the low number.

## ОСОБЕННОСТИ КРУГЛОГОДИЧНОЙ ВЕГЕТАЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

**Е.Ю. Митрофанова**

Институт водных и экологических проблем СО РАН

656099, г. Барнаул, ул. Папанинцев, 105

e-mail: emit@iwer.ab.ru

В 1996–1997 гг. исследовали фитопланктон Телецкого озера во все гидрологические сезоны, включая зимний с устойчивым ледоставом. В период открытой воды выявлено преобладание криптофитовой водоросли *Chroomonas acuta* Uterm., подо льдом – синезеленых, в основном из рода *Anabaena*. Наибольшая численность фитопланктона в поверхностном слое в южной части озера отмечена в июне, в северной – в октябре, на стыке широтной и меридиональной частей – в августе. Вертикальное распределение фитопланктона характеризуется максимальным количеством на глубинах 0 и 10 м, в некоторых случаях – на 50 м. В зимнее – весенние месяцы максимум численности отмечается в приповерхностном слое, а максимум биомассы – в этом же слое и на глубине 50 м.

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение фитопланктона Телецкого озера проводится с 1989 г. в основном в период открытой воды [13, 14, 21], зимние сборы до сих пор были единичными [3, 12, 20]. В связи с этим возникла необходимость исследовать развитие планктонных водорослей во все сезоны года, и в 1996–1997 гг. были проведены наблюдения в течение полного гидрологического цикла, включая период ледостава.

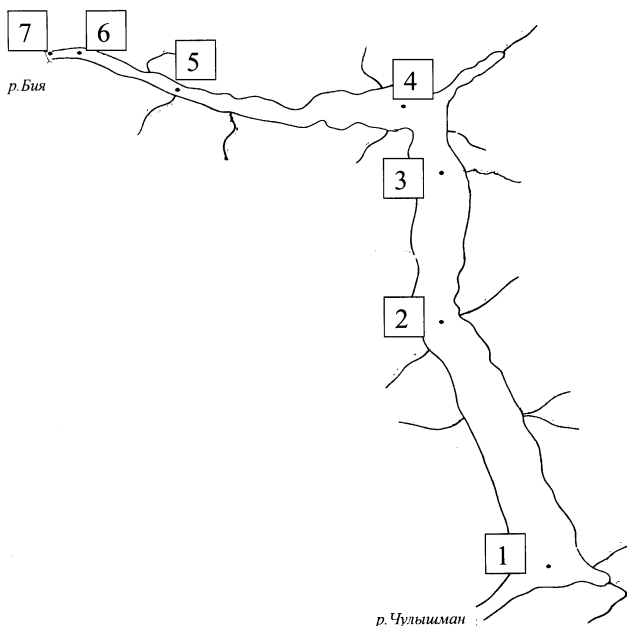
Телецкое озеро, расположенное в северо-восточной части Горного Алтая на высоте 434 м, – крупнейший в Западной Сибири глубоководный водоем. Площадь его водного зеркала составляет 227.3 км<sup>2</sup>, длина 78 км, максимальная ширина 5.2 км, максимальная и средняя глубины 323 и 174 м, запас воды 41.1 км<sup>3</sup> [25]. Озеро имеет вытянутую руслообразную форму и характеризуется высокой проточностью: полный внешний водообмен осуществляется в течение 5–7 лет. Акватория озера делится на глубоководную меридиональную и мелководную широтную части, которые различаются по морфометрии, строению дна и берегов, а также по климатическим, ледово-термическим и ветроволновым характеристикам [23]. Формирование термического режима озера связано с его большой глубиной, господством горных ветров в его долине и непостоянным или поздним ледоставом [11]. В озере наблюдаются образования термоклина и термобара. По термической

классификации Фореля оно относится к озерам умеренного типа, в которых дважды в год (весной и осенью) при температуре максимальной плотности воды ( $4^{\circ}\text{C}$ ) развивается вертикальная циркуляция. Наиболее сильное ветровое перемешивание происходит в сентябре – январе. Прозрачность воды в период наших наблюдений колебалась в пределах 0.9–11.3 м, однако максимальная может достигать 15 м [23].

Протекание биологических процессов в озере связано с гидрологическими сезонами [10, 11]: весенним (май – июнь) и летним (июль – август) прогревом, осенним (сентябрь – декабрь) охлаждением и зимним (январь – апрель) минимумом температур.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробы фитопланктона отбирали батометром Молчанова с борта судна в 1996–1997 гг. на семи станциях (рис. 1): в меридиональной южной части озера (ст. 1–3), широтной северной (ст. 5–7) и на их стыке (ст. 4).

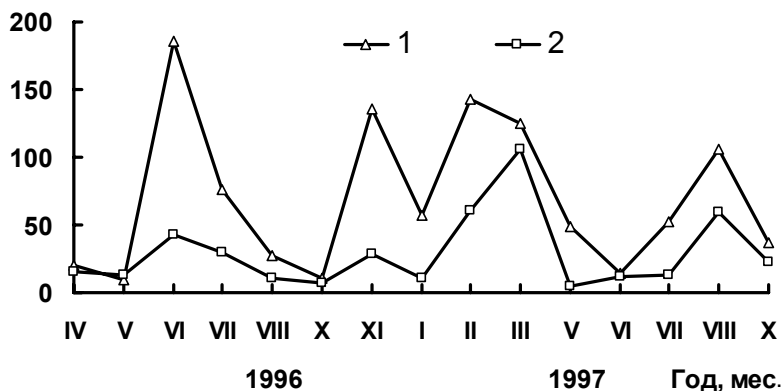


**Рис. 1.** Схема расположения станций наблюдения на Телецком озере (1 – Чулымшан, 2 – Кокши, 3 – Корбу, 4 – Яйлю, 5 – Самыш, 6 – Артыбаш, 7 – Бия).

Горизонтальное распределение фитопланктона предполагало распределение водорослей в поверхностном слое озера, вертикальное – на глубинах 0, 10, 50, 100 м на всех станциях, а также 200 и 250 (или 300) м – на глубоководных. Фитопланктон концентрировали отстойным методом, обработку проб проводили по стандартным гидробиологическим методикам [5]. Доминантами и субдоминантами считали виды, занимающие три первых места по численности и биомассе [7]. Частота доминирования по численности выражена в процентах от общего числа проб. Всего собрано и обработано 182 количественные пробы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Горизонтальное распределение фитопланктона. С марта по май 1996 г. на ст. 4 и 7 фитопланктон был беден и характеризовался низкими количественными показателями. Ведущая роль в сложении численности в целом принадлежала диатомовым водорослям, хотя доминантами были представители и других отделов: на ст. 7 в марте – *Chroomonas acuta* Uterm. (40%), в начале апреля – *Aphanothece clathrata* W. et G.S.West (37%), в лишь конце мая – мелкоклоточные *Cyclotella* и *Stephanodiscus* (71%); в качестве субдоминанта во все три срока отмечен *Platymonas incisa* Nyg. из отдела зеленых. По биомассе на ст. 4 в марте – апреле доминировал *Amphidinium lacustre* Stein (до 25%), в мае – *Fragilaria leptostauron* (Ehr.) Hust. (25%). В июне на стыке широтной и меридиональной частей озера (ст. 4) численность фитопланктона существенно повысилась и достигла максимальной для данного года (рис. 2) при преимущественном развитии *Chroococcales* sp. В июле в меридиональной части численно преобладал истинно планктонный вид криптонад *Chroomonas acuta* (до 71%), в широтной части – диатомовые (44%), в том числе бентосные формы из р. *Achnanthes*. В августе *Ch. acuta* лидировал по численности (до 61%) на всей акватории озера, за исключением ст. 5, где значимыми по-прежнему были диатомеи (60%), и оставался неизменным доминантом (до 69%) в октябре. При этом на одних участках роль *Ch. acuta* в сложении численности снизилась по сравнению с августом, на других возросла. В тоже время, на глубоководных станциях в целом повысилась значимость диатомовых водорослей. В ноябре на ст. 4 численность фитопланктона заметно увеличилась при преимущественном развитии синезеленых (95% численности и 86% биомассы), в том числе – *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Breb.



**Рис. 2.** Сезонная динамика численности (тыс. кл./л, 1) и биомассы (мг/м<sup>3</sup>, 2) фитопланктона в поверхностном горизонте на ст. 4.

С января до мая 1997 г. на ст. 4 были отмечены наибольшие за год значения численности и биомассы, обусловленные развитием *A. flos-aquae* (до 91%), *A. circinalis* (Kutz.) Hansg. (до 27%), а также *Microcystis pulverea* (H. Wood) Forti emend. Elenk. и *Aphanothece clathrata*. В феврале синезеленые достигли максимума своего развития в подледном слое (135.1 тыс. кл./л или 94%). К середине марта численность фитопланктона снизилась, но доля синезеленых в ней осталась почти на прежнем уровне (94%) с теми же доминантами. *Chroomonas acuta* и *Cyclotella*+*Stephanodiscus* перешли в разряд субдоминантов. Биомасса фитопланктона была наибольшей в марте при доминировании *Cyanophyta* (49%) (рис.2), ее резкое снижение произошло в мае, когда равный вклад вносили синезеленые и криптофитовые (по 35%). Наибольшая доля диатомовых в биомассе отмечена в феврале при незначительной их роли в сложении численности ввиду присутствия донных форм, например, *Navicula placentula* (Ehr.) Grun.

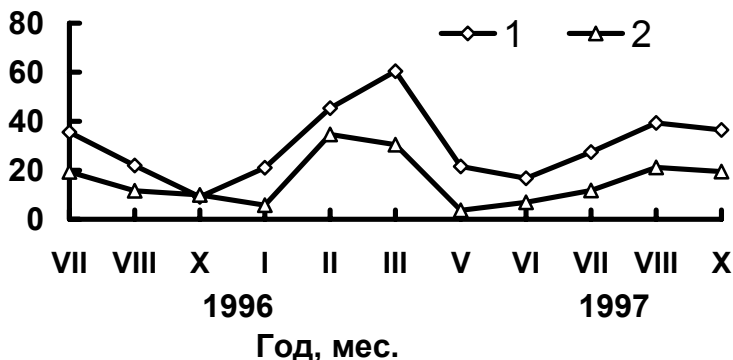
В июне самые высокие по акватории озера численность и биомасса фитопланктона отмечены на ст. 4. Здесь снова активно развивался *Chroomonas acuta* (до 75%), который появился в доминантном комплексе в качестве субдоминанта в мае и распространился по всему озеру, перейдя в разряд доминантов в июне. Он играл существенную роль и в сложении биомассы на всех станциях кроме ст. 2 и 4, где лидировали *Cymbella helvetica* Kutz., *Asterionella formosa* Hass. и нитчатка из рода *Oscillatoria*. В июле численность и биомасса фитопланктона изменились незначительно, преобладание *Chroomonas acuta* сохрани-

лось на ст. 1–3, а на ст. 4 многочисленным был *Chlorococcales* sp. К субдоминантам относились *Golenkiniopsis solitaria* (Korsch.) Korsch., *Cyclotella*+*Stephanodiscus*, *Asterionella formosa*. На ст. 3 по биомассе доминировала также *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr., на ст. 4 – *A. formosa*.

В августе наибольшая численность фитопланктона обнаружена на ст. 4, биомасса – на ст. 6. *Chroomonas acuta* доминировал по численности на всей акватории озера (до 76%), а по биомассе – на ст. 1, 3 и 6. На ст. 2 доминировала крупноклеточная *Cyclotella bodanica* Eulens., на ст. 4 – мелкоклеточная *Euglena* sp., на ст. 5 – *Cryptomonas marssonii* Skuja. В массе развивалась *Gloeothrichia echinulata* (J. Sm.) P. Richt., больше всего ее отмечено на ст. 1. В октябре наибольшие значения численности и биомассы фитопланктона отмечены в широтной части (ст. 6 и 7). По всему озеру по численности лидировал *Chroomonas acuta* (до 70%), кроме ст. 7, где преобладали мелкие донные формы из рода *Achnanthes*. В сложении биомассы ведущая роль принадлежала разным видам: на ст. 1 – *Cocconeis placentula* Ehr., *Aulacosira distans* (Ehr.) Sim., на ст. 3 – *Chroomonas acuta*, на ст. 4 – *Cyclotella bodanica*, *Mallomonas acaroides* Perty, на ст. 6 и 7 – *Amphora ovalis* Kutz.

Вертикальное распределение фитопланктона. В течение всего периода наблюдений максимум численности и биомассы водорослей в основном был приурочен к поверхности и глубине 10 м. Исключение составляла на ст. 2, на которой в июле 1996 г. максимальная численность отмечалась на глубине 50 м за счет развития *Aphanothece clathrata* (95%).

Максимальная средняя для вертикали численность фитопланктона, превышавшая аналогичные показатели для периода открытой воды, была отмечена в феврале – марте 1997 г. подо льдом на ст. 4 (рис. 3). На всех глубинах встречались *Chroomonas acuta* и *Cyclotella* + *Stephanodiscus*, но частота доминирования по численности у них была различной: в 1996 г. – 48 и 19%, в 1997 г. – 37 и 29% соответственно. *Ch. acuta* характеризовался наибольшей частотой доминирования: на ст. 4 и в период открытой воды (почти во все сроки на глубине 0 и 10 м); на станциях 1–3 – в период стратификации (июль и август). При интенсивном перемешивании водной толщи озера в июне и октябре это распределение нарушалось. Высокой была значимость синезеленых из родов *Aphanothece*, *Microcystis*, *Gloeocapsa*, *Anabaena*, особенно подо льдом: в 1996 г. частота их доминирования по численности (в целом для отдела) составила 19%, в 1997 г. – 34%.



**Рис. 3.** Средние для вертикали (0-200 м) численность (тыс. кл./л, 1) и биомасса (мг/м³, 2) фитопланктона на ст. 4.

Среди видов, доминирующих по биомассе, отмечены представители разных отделов: диатомовые (*Aulacosira distans*, *A. italica* var. *valida* (Grun.) Sim., *Cyclotella bodanica*, *Amphora ovalis*, *Asterionella formosa*, *Navicula placentula*, *Cymbella aspera* (Ehr.) Cl., *C. helvetica*, *Synedr ulna*, *Diatoma hiemale* var. *mesodon* (Ehr.) Grun.), золотистые (*Dinobryon divergens* Imh., *Mallomonas acaroides*, *M. crassisquamma* (Asmund) Fott, *M. elongata* Reverd., *M. tonsurata* var. *alpina* (Pasch. et Ruttn.) Krieg.), динофитовые (*Glenodinium quadridens* (Stein) Schill., *Peridinium* sp., *Woloszynskia coronata* (Wolosz.) R. Thompson), синезеленые (*Anabaena flos-aquae*), зеленые (*Cosmoastrum punctulatum* (Breb.) Pal.-Mordv., *Microthamnion strictissimum* Rabenh., *Dictyosphaerium tetrachotomum* Printz.).

Максимум биомассы водорослей не всегда приурочен к поверхностному или подледному (во время ледостава) слою. Так, в мае 1997 г. на ст. 4 наибольшая биомасса была зафиксирована на глубине 270 м, а в феврале 1997 г. – на 50 м. В обоих случаях встречались преимущественно диатомовые: в первом *Cyclotella bodanica*, во втором – донные формы, в том числе *Surirella ovata* Kutz., которая при низкой численности (1.2 тыс. кл./л или 4%) вносила существенный вклад в биомассу фитопланктона.

В целом диатомеи, занимавшие ведущие позиции в сложении численности и биомассы в отдельные сезоны предыдущих лет [22], в 1996–1997 гг. были менее значимыми по сравнению с другими отделами водорослей. Лишь в мае 1996 г. они составляли 69% численности

и 86% биомассы, что было обусловлено присутствием пенистых форм, принесенных в озеро во время весеннего паводка. Роль диатомовых в сложении численности фитопланктона была велика в августе – октябре 1996 г. и июне – июле 1997 г. В первом случае в основном развивались донные формы, во втором – планктонные центрические. Кроме *Cyclotella* и *Stephanodiscus* на разных глубинах было заметным присутствие видов из рода *Aulacosira*: *A. distans*, *A. granulata* (Ehr.) Sim., *A. islandica* (O.F. Mull.) Sim., *A. italica* (Ehr.) Sim.

Интенсивный рост и развитие фитопланктона в Телецком озере начинается с установлением термической стратификации при уменьшении слоя, подверженного ветровому воздействию. В 1996–1997 гг. среднегодовые численность и биомасса представлены близкими значениями, не отличавшимися от полученных в предыдущие и последующие годы; только в маловодном 1989 г. они были значительно выше (табл. 1).

**Таблица 1.** Численность и биомасса фитопланктона Телецкого озера в разные годы.

Год	Численность, тыс. кл./л		Биомасса, мг/м <sup>3</sup>	
	пределы	средняя	пределы	средняя
1989	7.6–513.8	145.5±0.7	7.0–1207.5	148.0±1.2
1993	9.8–93.4	55.7±0.4	5.6–233.2	44.2±0.5
1994	32.9–283.7	41.0±0.7	11.5–65.9	18.7±0.2
1996	8.3–186.0	28.7±0.4	7.7–175.8	15.0±0.2
1997	14.6–143.0	32.7±0.2	5.0–105.6	15.7±0.1
1999	8.3–139.2	54.1±0.5	2.9–59.5	25.9±0.2
2000	6.4–152.4	30.0±0.1	1.7–80.5	20.2±0.1

В сезонной динамике фитопланктона наблюдаются один-два максимума, как и в глубоких озерах плато Путорана [1]. В период открытой воды 1996 г. наибольшие средние значения количественных показателей были зафиксированы в июле (48.1±1.2 тыс. кл./л и 15.7±0.3 мг/м<sup>3</sup>), а в 1997 г. шло их постепенное нарастание с максимумом в октябре (46.5±0.7 тыс. кл./л и 28.0±0.5 мг/м<sup>3</sup>). Развитие фитопланктона в поверхностном слое озера характеризуется так называемым «эффектом запаздывания» в направлении с юга на север. На юге меридиональной части (ст. 1) максимальная численность отмечена в июне; на стыке двух частей (ст. 4) – в августе; на севере широтной части (ст. 6) – в октябре. При этом существенных различий между ко-



личественными показателями фитопланктона в широтной и меридиональной части водоема не выявлено.

Высокая проточность и длительное перемешивание водной толщи ограничивают развитие фитопланктона в период открытой воды. Его обилие возрастает при стратификации: во второй половине лета, а также зимой, но только при установившемся ледовом покрове, который для всей акватории озера – явление редкое. Для водоемов Сибири (за исключением Байкала [8, 17–19]) характерно слабое развитие водорослей в зимний период [2, 4]. Зимние значения численности и биомассы фитопланктона в Телецком озере достаточно высоки в годы, когда наблюдается ледовое покрытие. В целом же они соответствуют величинам, характерным для олиготрофных озер [24].

В толще воды водоросли в основном сосредоточены на глубинах 0 и 10 м, однако периодически их скопления обнаруживаются на больших глубинах, причем, планктонных (особенно крупных форм) у дна, а бентосных – на 50 м. Первому способствуют нисходящие токи воды и оседание клеток в конце их вегетации, второму – восходящие потоки.

Характер горизонтального и вертикального распределения фитопланктона в озере меняется в течение сезонов года. Статистический анализ (табл. 2) показывает, что распределение водорослей по акватории озера в периоды весеннего перемешивания и начала прогрева водной толщи более однородно, чем при максимальном прогреве (июль – август). Это распределение не зависит от средней биомассы, которая изменяется в разные годы. Наибольшие коэффициенты вариации получены в августе 1996 г. и июле 1997 г., как и в 1989 г., что свидетельствует о горизонтальной и вертикальной неоднородности в распределении фитопланктона и может служить косвенным подтверждением увеличения разнообразия его местообитаний. Неоднородность прослеживается в периоды стагнации, не только летом (в июле – августе), но и зимой (в феврале – марте). Подобное отмечают и для Братского водохранилища [7].

В составе альгоценозов большую часть времени количественно преобладал *Chroomonas acuta*, лишь поздней весной и осенью, а также подо льдом отмечены высокие показатели развития синезеленых из рода *Anabaena*. Перемешивание водной толщи, короткий период летней стагнации, проточность водоема чаще всего не позволяют *Cyanoophyta* достигать высокого обилия в Телецком озере летом. В то же время подо льдом при низких температурах, которые не ограничивают их рост [9, 16], слабой освещенности и отсутствии турбулентности, они могут значительно увеличивать свою численность [12, 13].

**Таблица 2.** Изменение биомассы фитопланктона (мг/м<sup>3</sup>) по акватории Телецкого озера в разные годы

Дата на- блюдения	Пределы	Среднее с ошибкой	Коэффициент вариации, %
1989			
4–6 VI	7.0–60.0	38.3±24.8	64.7
26–28 VI	37.0–125.0	85.6±37.8	44.1
6–8 VII	15.0–87.3	44.9±29.9	66.6
27–28 VII	73.2–342.0	161.9±96.7	59.7
23–25 VIII	34.4–1125.5	240.4±299.8	124.7
6–8 IX	110.7–352.1	187.2±64.3	34.3
1996			
30 VII	10.0–29.5	17.7±9.4	53.0
27 VIII	3.4–33.3	11.1±11.9	106.9
25 X	7.7–36.8	17.3±10.3	59.5
1997			
10 VII	5.0–40.3	13.9±13.5	97.4
22 VII	11.4–21.2	16.5±4.3	25.9
23 VIII	9.8–77.9	33.7±26.6	79.0
10 X	8.3–81.3	40.4±30.4	75.3

Доля синезеленых в сложении общей численности и особенно биомассы уменьшается с глубиной. Этому способствует наличие в их клетках газовых вакуолей которые позволяют им держаться у поверхности [6]. С глубиной же происходит увеличение доли диатомовых, тяжелый кремниевый панцирь которых уменьшает их плавучесть. В целом доминантами по численности, как по горизонтали, так и по вертикали, являются одни и те же таксоны водорослей: мелкоклеточные центрические диатомовые *Cyclotella*+*Stephanodiscus* и криптофиты *Chroomonas acuta*. Периодически в поверхностных горизонтах повышается значимость синезеленых и золотистых. Последние редко опускаются ниже эпилимниона [22], также как и другие жгутиконосцы, например, субдоминант летнего фитопланктона хламидомонада *Platymona incisa*.

Сезонная сукцессия водорослей в водоеме связана с различными факторами среды, в том числе с динамикой водных масс, освещенностью, температурой, содержанием биогенных элементов [15, 24]. Ранее нами было установлено [14], что в сезонной сукцессии видов в фитопланктоне Телецкого озера выделяются три сукцессионных эпизода, соответствующие гидрологическим сезонам [11, 23], что характерно для олиготрофных водоемов [26, 27]. Весной и в начале

терно для олиготрофных водоемов [26, 27]. Весной и в начале лета преобладают диатомовые водоросли, в конце лета – криптофитовые, осенью – опять диатомовые. В отдельные годы при устойчивом ледоставе зимой наблюдается развитие синезеленых. Периодически криптофитовые могут преобладать на протяжении всего периода открытой воды, как это было в 1996–1997 гг.

## ВЫВОДЫ

Круглогодичные исследования проведенные на Телецком озере в 1996–1997 гг., выявили, что в период открытой воды (июль – август) максимум численности и биомассы фитопланктона в поверхностном слое обусловлен развитием криптофитовых водорослей, а в зимне-весенний период (февраль – март) подо льдом – развитием синезеленых. Среднегодовые значения численности (28.7 и 32.7 тыс. кл./л) и биомассы (15.0 и 15.7 мг/м<sup>3</sup>) не отличались от полученных в предыдущие и последующие годы.

Распределение фитопланктона в поверхностном слое было неравномерным как по акватории озера, так и во времени. Наибольшая численность водорослей на юге меридиональной части отмечена в июне, на стыке широтной и меридиональной частей – в августе, в северной широтной части – в октябре. Существенных различий количественных показателей между двумя морфометрически и гидрологически различными частями не выявлено.

Вертикальное распределение фитопланктона характеризуется максимумом численности на глубинах 0 и 10 м, в некоторых случаях на 50 м. В зимне-весенние месяцы максимум численности наблюдался в поверхностном слое, максимум биомассы – как у поверхности, так и на 50 м.

В сезонной динамике фитопланктона выявлены характерные для олиготрофных водоемов три сукцессионных эпизода. На олиготрофный характер озера указывают также таксономический состав альгоценозов и их доминантных комплексов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 00–05–64632, Интеграционного проекта СО РАН № 74.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексюк Г.В., Бекман М.Ю.* Фитопланктон пудоранских озер и условия его развития // *Озера северо-запада Сибирской платформы.* Новосибирск: Наука, 1981. С. 110–118.
2. *Воробьева С.С.* Фитопланктон водоемов Ангары. Новосибирск: Наука, Сиб. издат. фирма РАН, 1995. 126 с.

3. *Воронихин Н.Н.* Фитопланктон Телецкого озера // Споровые растения: Тр. Ботан. ин-та АН СССР. (1938) 1940. Вып. 4. С. 223–235.
4. *Загоренко Г.Ф.* Разнообразие фитопланктона как показатель пространственной его структуры //Тез. докл. VIII конф. по спорным растениям Средней Азии и Казахстана, 4–6 сент. 1989 г. Ташкент: «ФАН» УзССР, 1989. С. 19–20.
5. *Киселев И.А.* Планктон морей и континентальных водоемов. Т. 1. Вводные и общие вопросы планктологии. М.: Наука, 1969. 440 с.
6. *Киселев И.А.* Планктон морей и континентальных водоемов. Т. 2. Распределение, сезонная динамика, питание и значение. Л.: Наука, 1980. 658 с.
7. *Кожова О.М.* Формирование фитопланктона Братского водохранилища //Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища. М.: Наука, 1970. С. 26–171.
8. *Кожова О.М., Ащепкова Л.Я.* Анализ временных рядов байкальского фитопланктона //Круговорот вещества и энергии в водоемах. Иркутск: Изд-во НИИ биологии при ИГУ, 1981. Вып. 2. С. 78–79.
9. *Комаренко Л.Е., Васильева И.И.* Пресноводные диатомовые и синезеленые водоросли водоемов Якутии. М.: Наука, 1975. 423 с.
10. *Лепнева С.Г.* Термика, прозрачность, цвет и химизм воды Телецкого озера//Исследование озер СССР. Л., 1937. Вып. 9. С. 3–105.
11. *Лепнева С.Г.* Жизнь в озерах//Жизнь пресных вод СССР. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1950. Т. 3. С. 257–552.
12. *Митрофанова Е.Ю.* Особенности таксономического состава зимнего и летнего фитопланктона Телецкого озера//Региональное природопользование и экологический мониторинг: Тез. докл. к конф., 27–29 сент. 1996 г. Барнаул, 1996. С. 258–259.
13. *Митрофанова Е.Ю.* Особенности фитопланктона пелагиали глубокого озера юга Западной Сибири//Проблемы устойчивого развития общества и эволюция жизненных сил населения Сибири на рубеже XX–XXI вв. Барнаул: АГУ, 1998. С. 192–197.
14. *Митрофанова Е.Ю.* Фитопланктон Телецкого озера (Горный Алтай, Россия): Автореф. дис... канд. биол. наук. М., 2000. 21 с.
15. *Михеева Т.М.* Сукцессия видов в фитопланктоне: Определяющие факторы. Минск: БГУ, 1983. 71 с.
16. *Попова Т.Г.* Опыт характеристики водорослевого населения водоемов Западной Сибири по широтным зонам//Тр. Центр. сиб. ботан. сада. 1964. Вып. 8. С. 21–34.
17. *Поповская Г.И.* О фитопланктоне пелагиали Байкала // Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск: Наука, 1975. С. 16–20.

18. *Поповская Г.И.* Фитопланктон // Проблемы Байкала. Новосибирск: Наука, 1978. С. 158–169.
19. *Поповская Г.И.* Фитопланктон Байкала как основа биологических ресурсов озера // Проблемы исследования крупных озер СССР. Л.: Наука, 1985. С. 206–209.
20. *Порецкий В.С., Шешукова В.С.* Диатомовые Телецкого озера и связанных с ним рек // Диатомовый сборник. Л.: Изд-во ЛГУ, 1953. С. 107–173.
21. *Сафонова Т.А., Митрофанова Е.Ю.* Материалы к изучению видового состава водорослей озера Телецкого (Горный Алтай, Россия) // Альгология. 1998. Т. 8, № 1. С. 3–10.
22. *Сафонова Т.А., Митрофанова Е.Ю.* Золотистые водоросли Телецкого озера // Сибирский экологический журнал. 2001. Вып. 4. С. 429–433.
23. *Селегей В.В., Селегей Т.С.* Телецкое озеро. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 142 с.
24. *Трифенова И.С.* Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с.
25. Physical and geological environment of Lake Teletskoye. Musee Royal De L'Afrique Centrale Tervuren, Belgique Annales: Sciences Geologiques. 2001. Vol. 105. 310 pp.
26. *Schmidt R.* Diatomeenalytische Auswertung laminierter sedimente für die Beurteilung trophischer Land-Zeitrends am Beispiel des Mondsees (Oberösterreich) // Wasser Abwasser. 1991. Bd 35. S. 109–123.
27. *Sommer U.* The periodicity of phytoplankton in Lake Constance (Bodensee) in comparison to other deep lakes of central Europe // Hydrobiologia. 1986. Vol. 138. P. 1–7.

## THE FEATURES OF THE ANNUAL PHYTOPLANKTON VEGETATION IN TELETSKOYE LAKE

**E.Yu. Mitrofanova**

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS  
105, St. Papanitsev, Barnaul 656099, Russia, e-mail: emit@iwep.ab.ru

Study of phytoplankton seasonal dynamics was carried out in Teletskoye Lake all year round during 1996–1997. Predominance of cryptophyte algae *Chroomonas acuta* Uterm in the surface layer during ice-free period as well as the blue-greens (mainly *Anabaena*) under the ice was observed. The horizon phytoplankton distribution is more even by with water area than with time. Phytoplankton in the surface layer reaches its maximum in the southern part of the lake in June; at the cross-point of latitudinal and meridional parts in August; and in the northern part in October. Phytoplankton vertical distribution was characterized by maximum number at depths of 0 and 10 m and sometimes at 50 m. In winter and spring months the highest cell number was observed in the surface layer, and the highest biomass in the surface and at 50 m.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ФИТОПЛАНКТОН ЭВТРОФНОГО ЗАГРЯЗНЯЕМОГО ОЗЕРА**

**О.А. Павлова**

Институт озероведения РАН

196105, г. Санкт-Петербург ул. Севастьянова, 9

E-mail: oksana\_pavlova@pochtamt.ru

Для выявления реакции фитопланктона эвтрофного оз. Нижнее Суздальское (г. Санкт-Петербург) на дополнительное поступление биогенных элементов и прогнозирования возможных изменений состояния экосистемы проведены опыты с внесением азота и фосфора. Оценены изменения состава альгоценозов, биомассы и концентрации хлорофилла. Показана высокая вероятность «цветения» водоема синезелеными водорослями в осенний период.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Для изучения реакции водорослей на дополнительное поступление биогенных элементов и оценки состояния водоемов широко используется метод биологических испытаний, позволяющий определить факторы, лимитирующие развитие фитопланктона, и прогнозировать возможные негативные изменения в экосистеме [2, 5, 6]. Подобные испытания проводились на оз. Нижнее Суздальское – последнем из трех Суздальских озер, расположенных на юге Карельского перешейка в черте г. Санкт-Петербурга. Озера входят в систему водосбора оз. Лахтинский разлив и имеют сток (через р. Каменку) в Невскую губу Финского залива.

Комплексные исследования Суздальских озер, направленные на оценку их состояния и создание научно обоснованной концепции сохранения и рационального использования городских водоемов проводятся Институтом озероведения РАН с 1995 г. [4]. Цель настоящей работы – экспериментальное изучение изменений, которые могут произойти в фитопланктоне озера при воздействии дополнительных биогенных нагрузок в виде добавок минеральных форм азота и фосфора.

### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Эвтрофное загрязняемое среднепроточное оз. Нижнее Суздальское является аккумулятором веществ, поступающих со стоком, как из других озер, так и с окружающей территории, подверженной активно-му и разнообразному антропогенному воздействию. Озеро небольшое

(площадь зеркала 0.97 км<sup>2</sup>), мелководное (средняя глубина 3 м), с низкой прозрачностью (0.7–0.8 м) и близкой к нейтральной pH воды (7.3–7.9), которая снижается в придонном слое до 5.9. В безледный период в озере отмечено высокое содержание биогенных элементов: 0.38–0.94 мг/л общего фосфора и 0.80–1.86 мг/л общего азота [9].

Опыты с биогенными добавками проводили в мае, августе и октябре 1999 г. Пробы отбирали в полиэтиленовые емкости из поверхностного слоя на постоянной станции в пелагиали озера. Определяли исходный видовой состав и биомассу фитопланктона, содержание хлорофилла (Хл) *a* и биогенных элементов. Концентрирование (путем осаждения) и обработку проб проводили по общепринятым методикам [3, 10, 11]. Хлорофилл определяли стандартным спектрофотометрическим методом в смешанном ацетоновом экстракте, концентрации рассчитывали по формуле Толлинга [12]. Воду разливали в 2-х литровые пластиковые бутылки, в которые вносили добавки фосфора в виде КН<sub>2</sub>РO<sub>4</sub> (концентрации 0.05, 0.1, 0.15 мг/л) и азота в виде Са(НО<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (концентрации 0.5, 1.0, 1.5 мг/л) отдельно и в комплексе в соотношении N:P=10:1. Емкости экспонировали в лабораторных условиях в течение пяти суток при естественном освещении. В конце экспозиции определяли те же показатели, что и в исходной пробе. Для характеристики фитопланктона озера использовали данные, полученные в 1995–2000 гг. (в период открытой воды с мая по октябрь, а также в апреле подо льдом).

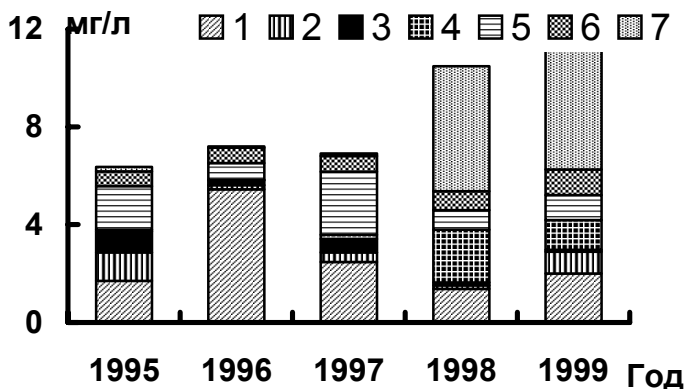
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За период исследования в планктоне озера обнаружено 275 видов и разновидностей водорослей, которые распределяются в следующем соотношении: Bacillariophyta – 67, Chlorophyta – 125, Chrysophyta – 21, Cryptophyta – 7, Dinophyta – 12, Euglenophyta – 35, Xanthophyta – 8, Cyanophyta – 34. Большинство таксонов являются широко распространенными типично планктонными формами, индифферентными по отношению к солености и pH среды. Из числа видов-индикаторов органического загрязнения основная часть (67%) относится к β-мезосапробам.

В 1995–1999 гг. среднесезонная биомасса фитопланктона изменялась от 6.4 до 11.1 мг/л [7, 8]. В первые годы наблюдений основными доминантами весеннего планктона были диатомовые водоросли *Aulacosira ambigua* (Grun.) Sim., виды родов *Cyclotella* и *Stephanodiscus* или пеннатные формы, сопровождаемые эвгленовыми, золотистыми и криптофитовыми (рисунок). Летом преобладали динофитовые *Ceratium hirundinella* (O.F.M.) Bergh., осенью – виды рода *Stephanodiscus* и криптомонады. С 1998 г. наблюдалась резкая смена доминан-



тов, связанная, вероятно, с увеличением в 1.5–2 раза фосфорной нагрузки на озера и их водосборы [1]. Весной 1998 г. отмечалась массовая вегетация криптононад (до 12.2 мг/л), а в сентябре осенний пик биомассы (25.0–31.9 мг/л) был обусловлен массовым развитием синезеленой *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagn. et Kom. В настоящее время доля синезеленых водорослей в среднесезонной биомассе фитопланктона озера достигает 49%.



**Рисунок.** Среднесезонная биомасса фитопланктона оз. Нижнее Суздальское в разные годы: 1 – диатомовые; 2 – зеленые, 3 – золотистые; 4 – криптофитовые; 5 – динофитовые; 6 – эвгленовые; 7 – синезеленые.

В мае 1999 г. в период проведения эксперимента фитопланктон характеризовался значительным флористическим разнообразием (61 таксон) с преобладанием хлорококковых водорослей. Высокая биомасса (11.3 мг/л) была обусловлена вегетацией типичных весенних доминантов озера – *Aulacosira ambigua*, видов *Stephanodiscus* и *Cyclotella*, *Cryptomonas marssonii* Skuja, а также развитием *Planktothrix agardhii*. После внесения биогенов происходило значительное (на 30%) снижение видового разнообразия при заметном росте количественных показателей. Основное стимулирующее влияние оказывала совместная добавка азота и фосфора: биомасса водорослей по сравнению с контролем возросла на 27–44%, содержание Хл *a* – на 90–233% (таблица).

**Таблица.** Показатели развития фитопланктона оз. Нижнее Суздальское в опытах с добавками биогенных элементов.

Вариант опыта	Хл <i>a</i> , мкг/л	Биомасса, мг/л	Диатомо- вые	Зеленые	Эвглено- вые	Синезеле- ные
			% от общей биомассы			
Май						
Исходная вода	15.0	11.3	18	4	7	60
Контроль	12.5	17.8	22	3	2	72
N*	16.7–20.6	18.1–20.0	23–30	3–4	4–10	56–70
P*	11.3–17.3	19.9–24.2	14–22	1–4	6–11	65–78
N+P*	23.8–41.6	22.6–25.6	18–26	3–4	5–7	62–74
Август						
Исходная вода	12.7	9.9	1	25	15	19
Контроль	11.4	11.2	0.5	32	9	30
N*	19.4–21.3	9.5–12.3	1–2	25–43	10–12	3–34
P*	9.5–12.4	12.1–19.2	0.5–1	27–31	9–11	27–39
N+P*	20.9–22.2	12.1–17.8	1–2	26–42	13–14	1–4
Октябрь						
Исходная вода	11.1	3.4	13	3	51	17
Контроль	24.4	6.1	17	2	17	58
N*	31.7–35.9	14.5–22.9	5–8	1–2	10–14	74–81
P*	25.0–26.9	7.2–18.8	7–9	1–3	8–24	63–83
N+P*	35.5–47.0	14.3–19.9	5–7	0.5–1	10–11	79–84

\* приведены минимальные и максимальные величины, полученные в экспериментах с добавками.

Было отмечено массовое развитие диатомовых (*Aulacosira ambigua*, *Fragilaria crotonensis* Kitt.), синезеленых (*Planktothrix agardhii*, *Planktolynghya limnetica* (W. West) Anagn. et Kom.), а также отсутствовавших в исходной пробе видов рода *Anabaena*. При добавлении фосфора активно развивались зеленые водоросли из родов *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Oocystis*, *Staurastrum* и др., численность которых возросла в 1.4–8.5 раза.

В августе в исходной воде было обнаружено 52 таксона водорослей, из которых 58% составляли зеленые (виды *Coelastrum*, *Cosmarium*, *Closterium*), присутствовали также синезеленые и эвгленовые (*Planktothrix agardhii*, виды *Microcystis* и *Trachelomonas*). Биомасса фитопланктона, которая стала несколько ниже, чем в мае и состави-

ла 9.9 мг/л, определяли динофитовые (39%) *Ceratium hirundinella* и *Peridinium cinctum* (O.F.M.) Ehr., зеленые *Cosmarium bioculatum* Breb. и синезеленые водоросли. Внесение биогенов вызвало заметное увеличение видового разнообразия водорослей, а также значительный (на 20-94%) рост биомассы и концентрации Хл *a* при совместных добавках малых и средних концентраций биогенов и, особенно, фосфора (таблица). Наибольший отклик был отмечен для синезеленых: при внесении фосфора численность некоторых видов (*Planktothrix agardhii*, *Microcystis wesenbergii* Kom., *Woronichinia naegelianiana* (Unger) Elenk.) увеличилась в несколько раз, а доля Cyanophyta в целом составила 39%. Средние и максимальные дозы азота и совместная добавка N+P стимулировали развитие зеленых водорослей. Численность основного доминанта *Cosmarium bioculatum* возросла в 2.6 раза, достигнув 7.7 млн. кл./л, *Coelastrum microporum* Nag. – в 3.9, *Dictyosphaerium pulchellum* Wood. – в 9.1 раза.

Внесение биогенов в октябре не вызвало резкого изменения видового состава водорослей: и в исходной пробе, и в контроле было обнаружено 37 таксонов. Преобладали зеленые (30%), в основном десмидиевые – *Cosmarium bioculatum*, виды рода *Closterium* (*C. prorum* Breb. и др.). К числу доминантов относились *Aulacosira ambigua*, виды рода *Trachelomonas*, *Cryptomonas marssonii*, *Planktothrix agardhii*, а также золотистые (*Pseudokephyrion schilleri* (Schiller) Conf.) и динофлагелляты (*Peridinium cinctum*). Небольшое (на 10–15%) увеличение видового богатства наблюдалось при добавлении фосфора и малых концентраций азота. Состав массовых форм практически не менялся. В то же время был отмечен значительный прирост биомассы водорослей, связанный с массовым развитием *Planktothrix agardhii*. Интенсивная осенняя вегетация *Planktothrix*, вызывающих «цветение» воды, наблюдается в озере с 1998 г. Численность и биомасса вида в эксперименте были несколько ниже, чем в естественных условиях, но все же достигали соответственно 234 млн. кл./л и 17.6 мг/л. Наибольший прирост биомассы отмечен при добавлении азота, максимум Хл *a* (до 47 мкг/л) – при внесении обоих элементов (таблица). Доля синезеленых увеличилась в несколько раз и достигла 84% от общей биомассы фитопланктона. По сравнению с контролем был отмечен значительный прирост эвгленовых из рода *Trachelomonas* и диатомовых – видов *Fragilaria* и *Aulacosira ambigua* (в присутствии азота). Во всех вариантах опыта наблюдалось резкое снижение количества криптононад, в первую очередь *Cryptomonas marssonii*.

## ВЫВОДЫ

Результаты экспериментов показывают, что развитие фитопланктона в эвтрофном загрязняемом оз. Нижнее Суздальское в течение первой половины вегетационного сезона лимитируется в основном содержанием фосфора. Наиболее заметный эффект внесение биогенных добавок в мае оказывает на развитие зеленых и диатомовых, в начале августа – синезеленых водорослей. Осенью отмечено значительное увеличение обилия *Planktothrix agardhii*, определявшей количественные показатели развития фитопланктона, при внесении азота раздельно и в комплексе с фосфором.

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант № 01–04–49592.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алябина Г.А., Сорокин И.Н. Оценка внешней нагрузки на водные объекты в условиях урбанизированного ландшафта // Экологические и метеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. Тез. докл. Всероссийск. науч. конф. СПб.: Изд-во РГГМУ, 1999. С. 9–11.
2. Гусева К.А. «Цветение» воды, его причины, прогноз и меры борьбы с ним // Тр. ВГБО. 1952. Т. 4. С. 3–94.
3. Гусева К.А. К методике учета фитопланктона // Тр. Ин-та биологии водохранилищ. 1959. Т. 2. С. 44–51.
4. Кондратьев С.А., Гронская Т.П., Ефремова Л.В., Игнатьева Н.В., Сорокин И.Н., Алябина Г.А. Водные объекты в условиях интенсивного техногенеза: методология мониторинга и критерии допустимой нагрузки. СПб.: СПбГУ, 1998. 68 с.
5. Лаврентьева Г.М. Фитопланктон малых удобряемых озер. М.: Агропромиздат, 1986. 103 с.
6. Никулина В.Н. Биогенные элементы как лимитирующий фактор фитопланктона // Гидробиологические исследования морских и пресных вод. Л.: Наука. 1988. С. 11–19.
7. Павлова О.А. Современное состояние фитопланктона Суздальских озер г. С.-Петербурга // Эколого-физиологические исследования водорослей и их значение для оценки состояния природных вод. Ярославль: ЯГТУ, 1996. С. 79–81.
8. Павлова О.А. Состояние фитопланктона малых водоемов г. С.-Петербурга под влиянием урбанизированного ландшафта // Региональная экология. 1999. № 4. С. 70–74.
9. Региональные проблемы сбалансированного развития процесса природопользования. Эколого-экономические, организационные и правовые аспекты. СПб.: СПбГТУ, 1999. 508 с.

10. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
11. *Трифонов И.С.* Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с.
12. *Talling J.F.* Photosynthetic pigments: general outlines of spectrophotometric methods // A Manual IBP. Handbook № 12. Oxford. 1974. P. 22–26.

## **EXPERIMENTAL STUDY OF EFFECT OF THE BIOGENIC ELEMENTS ON A EUTROPHIC POLLUTED LAKE'S PHYTOPLANKTON**

**O.A. Pavlova**

Institute of Limnology RAS, 196105, St.-Petersburg, Russia

Seasonal test experiments have been conducted to reveal the phytoplankton response in eutrophic lake Nizhnee Suzdalskoye (St.-Petersburg) on additional N and P input in order to predict changes in lake ecosystem.

## ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ МОРФО- АНАТОМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ САМОК КОМАРОВ-ЗВОНЦОВ РОДА *CHIRONOMUS* *MEIGEN* (CHIRONOMIDAE, DIPTERA)

**Н.В. Полуконова**

Саратовский государственный медицинский университет, каф. общей  
биологии, 410026, Саратов, ул. Большая Казачья, 112

E-mail: ermokhinmv@info.sgu.ru

На основании морфо-анатомического анализа самок комаров-звонцов 36 видов рода *Chironomus* Meigen (Chironomidae, Diptera) из двух подродов – *Chironomus* s. str. и *Camptochironomus* составлен обзор морфологических признаков с оценкой их таксономической значимости.

Ключевые слова: морфология, хирономиды, имаго, самки, *Chironomus*, *Camptochironomus*.

### ВВЕДЕНИЕ

Исследования комаров рода *Chironomus* Meigen (Chironomidae, Diptera) в основном традиционно проводились только по строению самцов. Самки рода долгое время совсем не исследовались и сведения о них отсутствовали или были очень краткими. Однако, изучение самок продиктовано не только необходимостью диагностики видов *Chironomus* на этой стадии, например, в экологических исследованиях, но и выяснения характера внутривидовых отношений, подродового состава, уточнения филогенетических построений.

Недостатком в немногочисленных описаниях самок было слабое использование количественных показателей. Диагнозы строили на переменных признаках окраски, описании деталей строения и отдельных промерах [3, 13, 21]. В существующих к настоящему времени диагнозах самок видов *Chironomus* [9–12] также отсутствует морфометрия деталей строения гениталий. Такие наборы признаков не позволяют идентифицировать виды-двойники внутри групп. Нами на основе анализа самок комаров-звонцов 36 видов *Chironomus* выявлены новые диагностические показатели и проведена ревизия уже используемых признаков с точки зрения их таксономической значимости на уровне видов – двойников, гомосеквенциальных видов, видов разных подродов. Ниже приводится обзор морфологических показателей самок *Chironomus* с оценкой их таксономической значимости.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Изучены самки Chironomidae 25 видов из рода *Chironomus* Meigen, относящиеся к подроду *Chironomus* s. str.: группа *plumosus* [6, 7, 17]: *C. plumosus* (Linnaeus), *C. balatonicus* Devai et al., *C. entis* Schobanov, *C. bonus* Shilova et Dzhvarsheishvili, *C. borokensis* Kerkis et al., *C. usenicus* Loginova et Beljanina, *C. agilis* Schobanov et Djomin, *C. muratensis* Ryser et al., *C. nudiventris* Ryser et al., группа *obtusidens*: *C. heterodentatus* Konstantinov [5], *C. sokolovae* Istomina et al., *C. acutiventris* Wulker et al., пара близкородственных видов – *C. riparius* Meigen, *C. piger* Strenzke [8], пара гомосеквенциальных видов *C. curabilis* Beljanina et al., *C. nuditarsis* Keyl [18], а также *C. anthracinus* Zetterstedt; *C. pseudothummi* Strenzke, *C. fraternus* Wulker, *C. saxatilis* Wulker et al., *C. improvisus* Shobanov, *C. aberratus* Wulker, *C. trabibus* Shobanov; к подроду *Camptochironomus* Kieffer: *C. tentans* Fabricius и *C. pallidivittatus* Malloch из России – Иркутской обл., Новосибирской обл., Саратовской обл., Свердловской обл., Ярославской обл., Усть-Ленского заповедника, Алтая; Грузии (оз. Паравани), Болгарии. Кроме того, проанализированы данные других авторов по морфологии самок одиннадцати видов: *C. pilicornis* (Fabr.), *C. annularius* Mg., *C. solitus* Lin. et Jerb. [9]; *C. laetus* Beljanina et Filinkova, *C. wulkeri* Beljanina et Filinkova, *C. globulus* Filinkova et Belyanina [11, 12], *C. obscurus* Filinkova, *C. obensis* Filinkova, *C. frequentatus* Filinkova, *C. fundatus* Filinkova [10], *C. esai* Wulker [22].

Морфологические признаки самок изучали в основном на материале выведения имаго из личинок или фаунистических сборов. Материал для морфологических исследований фиксировали в жидкости Удманса или 70% этаноле. Морфологические препараты готовили в жидкости Фора или глицерин-желатине. Для установления видовой принадлежности личинок в большинстве случаев параллельно пользовались препаратами политенных хромосом, которые готовили по общепринятой ацетоорсеиновой методике. Морфологическая терминология и обозначения даны по О.А. Сэзеру [20], Н.А. Шобанову [15], Н.В. Логиновой (Полуконовой) [2].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ самок комаров внутри рода показал, что при исследовании видов необходимо использовать следующие морфологические и анатомические признаки. Звездочкой \* обозначены признаки, введенные впервые нами, знаком + – сокращение уже известных терминов.

**Видовые признаки, используемые также и в систематике самцов** [15, 20]: длина тела (в мм) от вершины головы до кончика брюшка; общий тон комара (по этому признаку хорошо дифференцируются черные и зелено-коричневые комары, например, угольно-черная самка *C. pilicornis*, темные – *C. fraternus*, *C. anthracinus*); окраска самки относительно самца того же вида.

**Голова.** Окраска головы относительно груди – темнее или светлее; окраска щетинок головы (у самок *Chironomus* в основном светлые щетинки, значительно реже – темные, например, у *C. trabibus*), число клипеальных щетинок (CS); форма и размер лобных штифтов, соотношение их длины и ширины (так, самка *C. saxatilis* характеризуется мелкими штифтами, а *C. improvisus* – цилиндрическими и длинными); окраска глаз – черные или коричневые.

Морфометрия головы (используется при дифференциации видов – двойников): ширина головы (LC), мкм; верхнее (siiD) и нижнее (iiD) межглазничное расстояние, мкм; высота глаз (Ao), мкм. Окраска 3-го, 4-го и 5-го члеников максиллярного щупика: чаще равномерная или темнеет к дистальному членику; морфометрия щупика (используется при дифференциации видов – двойников): указание длины 4-го членика щупика по сравнению с длиной третьего – больше, меньше или равна; длины члеников со 2-го по 5-ый (Pm<sub>2</sub>L, Pm<sub>3</sub>L, Pm<sub>4</sub>L, Pm<sub>5</sub>L).

**Грудь.** Окраска пронотума (переднеспинки): окрашена равномерно или по бокам с пятнами (большинство видов группы *plumosus* имеют пятна по бокам переднеспинки); окраска мезонотума (среднеспинки): выраженность и цвет полос Omb и Lmb (самка *C. fraternus*, например, характеризуется неочерченными полосами Omb); окраска груди между полосами: имеют ли полосы Omb продолжение до щитка (как, например, у самок *C. entis* и *C. bonus*); число щетинок груди: Dc – дорсоцентральных, Dm – дорсомедиальных, Pa – преалярных, Su – супраалярных, окраска скутеллюма (щитка): темная или светлая; число и расположение скутеллярных щетинок (StcS): в передней половине щитка, равномерно или по центру; окраска постнотума (заднеспинки): равномерная или нет, какие участки засветлены; окраска пятен на плеврах; окраска мезостернума.

**Жужжальце, крыло.** Окраска жужжалец: светлая или затемнена; длина крыла (в мм); окраска передних жилок крыла; рисунок на брахиолюме: светлый (как у большинства видов) или темный (как, например, у *C. pilicornis*); число щетинок на брахиолюме: может быть 3 и реже 4; количество пор брахиолюма: вершинных (BPa), медиальных (BPm), основных (BPb); расположение развилки Fcu относительно жилки R-M: дистальнее ее или непосредственно под ней.



**Ноги.** Окраска ног: равномерная или неравномерная (при неравномерной окраске лапки всех ног или только передней ноги могут быть темнее общего тона ног).

Морфометрия ног (при диагностике видов-двойников): длина бедра (feL), голени (tiL) и члеников лапок с 1-го по 5-ый (Ta<sub>1</sub>L, Ta<sub>2</sub>L, Ta<sub>3</sub>L, Ta<sub>4</sub>L, Ta<sub>5</sub>L) передней ноги, а также индекс LR, вычисленный как отношение длины 1-го членика лапки к длине голени, Ta<sub>3,2</sub>R – отношение длины 2-го членика лапки к длине 3-го; индекс опушения 1-го членика передней лапки; строение дистальных участков члеников Ta<sub>1</sub>, Ta<sub>2</sub> и Ta<sub>3</sub> лапок (форма и число шпор).

**Брюшко.** Рисунок на тергитах брюшка: какую форму имеет, асимметрично или симметрично расположен, какую часть тергита занимает (определенный рисунок чаще всего может быть на 2–5-ом тергитах, в основном он симметричен и занимает большую часть тергита); пигментация тергитов: помимо определенного рисунка тергит может быть пигментирован; поверхность тергита полностью пигментирована или задняя часть его светлая; ширина светлой полосы (у большинства видов окраска тергитов брюшка самок и самцов сильно изменчива, однако, ширина светлой полосы задней части каждого тергита, как правило, не варьирует внутри вида, так, у *C. plumosus* и *C. balatonicus*, в отличие от других видов группы *plumosus*, задняя треть всех тергитов светлая). Пигментация стернитов: как правило, окраска стернитов всегда светлее окраски тергитов, иногда может быть такой же (например, у *C. plumosus*, *C. entis*, *C. bonus*, *C. agilis*, *C. fraternus*, *C. saxatilis*, *C. trabibus* стерниты темно пигментированы). Щетинки брюшка и пятна вокруг их оснований на тергитах и стернитах могут быть светлыми или темными.

**Видовые признаки, связанные с особенностями строения самок.**

**Антенна.** Окраска члеников антенны: равномерная или неравномерная (при неравномерной окраске утолщения на 2–5 члениках могут быть темнее или светлее общей окраски антенн); окраска последнего членика антенны темнее, светлее или такая же по сравнению с общей окраской антенны (так, у *C. improvisus* последний членик черно-коричневый, а у большинства видов серый, серо-коричневый). Морфометрия антенны (используется при дифференциации видов-двойников): общая длина, длина с 1-го по 6-й членик по отдельности (A<sub>1</sub>L, A<sub>2</sub>L, A<sub>3</sub>L, A<sub>4</sub>L, A<sub>5</sub>L, A<sub>6</sub>L), индекс опушения антенны (BRA\*), подсчитывается как отношение длины щетинки на 3-ем членике антенны к ширине этого членика; число и описание щетинок у вершины последнего членика антенны. У самок большинства видов *Chironomus*

у вершины последнего членика одна длинная прямая щетинка, однако есть исключения (у *C. bonus* – одна изогнутая щетинка, у *C. improvisus* – три длинных прямых щетинок); щетинки антенны светлые у большинства видов, но могут быть темными, например, у *C. aberratus*.

**Крыло** (по сравнению с самцами, самки, как правило, имеют значительно больше щетинок на жилках крыла): число и расположение щетинок на жилке R ( $RS^+$ ) до RM и после RM и жилке  $R_{4+5}$  ( $R_{4+5}S^+$ ); щетинки могут располагаться равномерно по всей жилке (например, у *C. muratensis*, *C. usenicus*, *C. agilis*) или только с середины до вершины, могут располагаться неравномерно – в 2–3 ряда с середины жилки или только у вершины (например, у *C. balatonicus*, *C. entis*, *C. bonus*); есть виды, у которых этот признак сильно варьирует (у *C. plumosus* обнаружены разные варианты опушения; у *C. agilis* у вершины жилки R 4+5 щетинки расположены гуще, чем на остальном ее протяжении).

**Гениталии.** Окраска VIII стернита по сравнению с окраской других стернитов. Чаще она темнее, но может быть такой же; форма бугров VIII стернита.

В пределах группы близкородственных видов бугры могут быть округлой формы, как, например, у *C. muratensis* и *C. nudiventris* из группы *plumosus*, и овальной, как у других близкородственных им видов – от слегка удлинённой – до бобовидной, как у *C. plumosus* и других видов. Кроме того, бугры могут быть четко очерчены (как у *C. borealis*, *C. balatonicus* и других видов), нечетко очерчены, но ровной формы (*C. annularius*, *C. globules*, *C. pallidivittatus* в отличие от *C. tentans*) и иметь неровную форму (*C. tentans*, *C. frequentatus*, *C. obensis*, *C. pilicornis*). Крупные или некрупные бугры: какую часть VIII стернита примерно занимают (как правило, в пределах рода виды имеют крупные бугры).

Окраска бугров: светлее VIII стернита, темнее его, равномерная или пятнистая. Медиальные края бугров чаще могут быть окантованы темно-коричневой или черной полосой. У видов двойников ширина этой полосы может быть разной – широкой или узкой. Так, широкую полосу имеют *C. bonus* и *C. plumosus*, узкую – *C. usenicus* из группы *plumosus*.

Число и описание щетинок бугров ( $tS^+$ ) – светлее или темнее, многочисленные или немногочисленные, расположены равномерно или у внутреннего края гуще, одинакового размера или у внутреннего края они меньшего размера. Темные щетинки отмечены нами у *C. aberratus*. В основном виды рода имеют светлые щетинки, достаточно многочисленные и расположенные неравномерно – у внутренне-го края бугров они расположены кучнее и имеют несколько меньшие

размеры. В этом случае подсчет крупных и мелких щетинок лучше проводить раздельно (tS мелких и tS крупных); светлые, темные пятна вокруг тек на буграх или они отсутствуют.

Окраска поверхности VIII стернита между буграми. Участок VIII стернита между буграми у большинства видов рода засветлен, реже – равномерно окрашен (у *C. improvisus*). У *C. muratensis* между буграми два округлых светлых пятна, у *C. bonus* – светлая борозда, у других видов группы *plumosus* – одно светлое пятно, которое может сочетаться с наличием слабовыраженной светлой бороздки.

Описание выреза VIII стернита: крупные (развитые, как у видов подрода *Chironomus s. str.*) или некрупные лопасти (неразвитые как у видов подрода *Camptochironomus*); окраска лопастей (у *C. trabibus* лопасти окантованы по бокам узкой темно-коричневой полосой); форма и окраска щеточек (у большинства видов рода щеточки светло окрашены, но у некоторых, например, у *C. fraternus*, щеточки темно окрашены); наличие или отсутствие на лопастях шипиков (отсутствие характерно для видов подрода *Camptochironomus*).

Окраска ветвей и ствола аподемы: темный (черный) или светлый ствол, темные (черные) или светлые ветви, равномерно или неравномерно окрашены – дистальные участки ветвей могут быть темнее или светлее общей их окраски; угол между проксимальной и дистальной частями ветвей. Угол может быть примерно прямой, как у *C. plumosus*, *C. bonus*, и более 90°, как у *C. usenicus* или *C. entis*. Форма сперматек: округлая, как у видов группы *plumosus*, или удлинённая, как у *C. curabilis* из группы *nuditarsis*. У самки *C. improvisus* диаметр сперматек примерно равен диаметру бугров. Протоки сперматек у большинства видов прямые или слегка изогнуты (как у *C. pseudothummi*), но длина их может варьировать у разных видов. Чтобы учесть этот показатель, достаточно отметить заходит основание сперматеки за вершину аподемы или не заходит.

Форма латеростернита (треугольная, овальная, округлая); окраска латеростернита: темнее или светлее других частей гениталий, имеется или нет окантовка в основании со стороны VIII стернита; форма и окраска выпуклости латеростернита, соприкасается или нет выпуклость с нижними или боковыми краями латеростернита (так, одним из отличительных признаков *C. agilis* от видов группы *plumosus* является крупная округлая выпуклость латеростернита, соприкасающаяся с его краями); число щетинок латеростернита (GeS<sup>+</sup>), их окраска (светлая или темная и наличие или отсутствие светлых пятен в основании их тек).

Форма склеритов X тергита (широкие и короткие склериты характерны для видов подрода *Camptochironomus*). Склериты могут

иметь выступ, как, например, у *C. obensis*, *C. borealis*, *C. anthracinus*. Окраска склеритов X тергита: отличаются или нет по окраске от других частей гениталий, имеют ли окантовку со стороны VIII стернита (как, например, у *C. borealis*, *C. laetus*, *C. fundatus*, *C. wulkeri*, *C. frequentatus*, *C. obscurus*, *C. globulus*, *C. obensis* и др.). Число щетинок на склеритах X тергита (TXS<sup>+</sup>).

Форма церок: более вытянуты в длину или в ширину. Так, у *C. plumosus*, *C. agilis*, *C. bonus* церки с округлой вершиной, их форма вписывается в треугольник, у *C. usenicus*, *C. entis*, *C. balatonicus*, *C. muratensis* церки четырехугольные. Окраска церок: равномерная или неравномерная. Окраска, форма и выраженность постгенитальной пластинки. У большинства видов рода пластинка треугольная, у *C. Trabibus* – с каплевидной апикальной частью.

Морфометрия гениталий: длина (SVIII L<sup>+</sup>), ширина (SVIII W<sup>+</sup>) и индекс (SVIII R\*) VII стернита, равный отношению длины VII стернита к его ширине; высота бугра (tH\*), максимальная ширина бугра (mtW\*), индекс бугра (tR\*), равный отношению высоты бугра к его максимальной ширине; длина латеростернита (GcL\*), его ширина (GcW\*) и индекс (GcR\*), равный отношению длины латеростернита к его ширине; отношение длины VIII стернита к длине латеростернита (GcL R\*); отношение ширины VIII стернита к ширине латеростернита (GcW R\*); длина (TXL\*), ширина (TXW\*) и индекс (TXR\*) склерита X тергита; отношение длины и ширины VIII стернита к длине и ширине склерита X тергита (соответственно: TXL R\*, TXW R\*), длина церки (CeL\*), ширина церки в основании (CeW\*), индекс церки (CeR\*), равный отношению длины церки к ее ширине в основании, максимальная ширина церки (mCe W\*), отношение длины VIII стернита к длине церки (CeL R\*), отношение ширины VIII стернита к ширине церки в основании (CeW R\*) и к максимальной ширине церки (mCeW R\*), а также анатомические признаки – длина протоки (SDuL), длина ствола аподемы, диаметр сперматеки.

Как показали наши исследования самок *Chironomus*, в пределах группы близкородственных видов выявляется свой набор диагностически значимых признаков. Было установлено, что самки подродов *Chironomus* и *Camptochironomus* характеризуются видимыми различиями в строении гениталий (табл.). В пределах этих родов, межвидовые различия, например, у *C. riparius*, *C. piger* и *C. tentans*, *C. pallidivittatus*, заключаются в окраске и размерах тела, члеников антенны, ног, члеников щупика, а также хетоме (табл.). Внутригрупповые различия, наоборот, редко связаны с окраской. Так виды-двойники группы *plumosus*, наряду с высоким внутривидовым полиморфизмом,

имеют большое межвидовое сходство. Различия между близкородственными видами более мелкие, например, размеры деталей строения и опушенность груди и крыла (табл.).

Автор выражает искреннюю благодарность Н.А. Шобанову за предоставление материала из Усть-Ленского заповедника.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белянина С.И., Сigareва Л.Е., Логинова Н.В. Новый вид *Chironomus curabilis*, sp. n. (Chironomidae, Diptera) // Зоол. журн. 1990. Т. 69. № 5. С. 60–70.
2. Логинова (Полуконова) Н.В. Морфологический и кариотипический анализ видов рода *Chironomus* Meigen (Chironomidae, Diptera) // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. СПб, 1994. 16 с.
3. Линевич А.А., Ербаева Э.А. К систематике рода *Chironomus* Mg. из водоемов Прибайкалья и Западного Забайкалья. // Изв. Биол.-геогр. НИИ Иркутского ун-та. 1971. Т. 25. С. 127–190.
4. Логинова Н.В., Белянина С.И. Новый вид *Chironomus* из группы *plumosus* – *Chironomus usenicus*, sp. n. // Зоол. журн. 1994. Т. 73. №11. С. 93–105.
5. Полуконова Н.В. К диагнозу *Chironomus heterodentatus* Konstantinov // Экология, эволюция и систематика хирономид. Тольятти, Борок: ИЭВБ и ИБВВ РАН, 1996. С. 102–108.
6. Полуконова Н.В. Самки комаров-звонцов рода *Chironomus* Meigen (Chironomidae, Diptera). I. *Chironomus plumosus* (Linnaeus), *C. borokensis* Kerkis et al., *C. bonus* Shilova et Djvarsheishvili и *C. agilis* Shobanov et Djomin // Энтомол. обозр., 2001. Т. 80. № 2. С. 497–511.
7. Полуконова Н.В. Самки комаров-звонцов рода *Chironomus* Meigen (Chironomidae, Diptera). II. *Chironomus balatonicus* Devai et al., *C. nudiventris* Ryser et al. и *C. entis* Shobanov из группы *plumosus* // Энтомол. обозр., 2002 (в печати).
8. Полуконова Н.В., Белянина С.И., Дурнова Н.А. Дифференциальный диагноз гомосеквентных видов *Chironomus piger* Strenzke и *Ch. riparius* Meigen // Экология, эволюция и систематика хирономид. Тольятти, Борок: ИЭВБ и ИБВВ РАН, 1996. С. 109–115.
9. Родова Р.А. Определитель самок комаров-звонцов трибы Chironomini (Diptera, Chironomidae). Л., Наука. 1978. 137 с.
10. Филинкова Т.Н. Хирономиды родов *Chironomus* Meigen и *Camptochironomus* Kieffer (Diptera, Chironomidae) Полярного Урала, Ямала и Приобской лесотундры (морфология и кариотипические особенности. Автореф. дисс... канд. биол. наук. СПб, 1995. 16 с.

11. Филинкова Т.Н., Белянина С.И. Новый вид рода *Chironomus* (Diptera, Chironomidae) из водоемов Полярного Урала и Ямала // Зоол. журн. 1993. Т. 72. № 4. С. 80–87.
12. Филинкова Т.Н., Белянина С.И. Характеристика двух северных видов комаров-звонцов рода *Chironomus* (Chironomidae, Diptera) // Зоол. журн. 1993. Т. 72. № 10. С. 113–123.
13. Шилова А.И. К систематике рода *Tendipes* Mg. (Diptera, Tendipedidae). // Энтомол. обозр. 1958. Т. 37. Вып. 2. С. 434–451.
14. Шилова А.И. Хируномиды Рыбинского водохранилища. Л.: Наука, 1976. 249 с.
15. Шобанов Н.А. Систематика и биология рода *Chironomus* Meig. (Diptera, Chironomidae). Автореф. дисс... канд. биол. наук. Л., 1990. 22 с.
16. Шобанов Н.А., Шилова А.И., Белянина С.И. Объем и структура рода *Chironomus* Meigen (Diptera, Chironomidae): обзор мировой фауны // Экология, эволюция и систематика хируномид. Тольятти, Борок: ИЭВБ и ИБВВ РАН, 1996. С. 44–96.
17. Polukonova N. Morphological differentiation of females of *Chironomus* Meigen (Diptera, Chironomidae) in the plumosus and obtusidens-groups Late 20<sup>th</sup> Century Research on Chironomidae: An Anthology from the 13<sup>th</sup> International simposium on Chironomidae, Freiburg, 5–9 September 1997. Aachen: Shaker, 2000. P. 267–275.
18. Polukonova N., Belyanina S., Michajlova P. Morpho-karyotypic basis of the specific status of *Chironomus curabilis* Beljanina, Sigareva, Loginova, 1989 (Chironomidae, Diptera) and isolation of the group of species *nuditarsis* // Evolution, genetic, ecology and biodiversity. Vladivostok. 2001. S. 83.
19. Saether O.A. Female genitalia in Chironomidae and other Nematocera: morphology, phylogenies, keys // Bull. Fish. Res. 1977. Bd. Can. №197. 209 p.
20. Saether O.A. Glossary of Chironomid morphology terminology (Diptera, Chironomidae) // Entomol. Scand. 1980. Suppl. Vol. 14. 51 s.
21. Strenzke K. Revision der Gattung *Chironomus* Meig. 1. Die Jmages von 15 noddeutschen Arten und Unterarten // Arch. Hydrobiol. 1959. Bd. 56. S. 1–42.
22. Wulker W.F. *Chironomus esai* n. sp. (Diptera, Chironomidae) in lakes and reservoirs of central Fennoscandia // Entomol. Fennica 1997. Vol. 8. P. 171–176.

**THE TAXONOMIC IMPORTANCE OF MORPHO-ANATOMIC  
ATTRIBUTES OF MIDGES FEMALES FROM GENUS  
CHIRONOMUS MEIGEN (CHIRONOMIDAE, DIPTERA)**

**N.V. Polukonova**

Saratov medical institute, Chair of General Biology  
410026, Russia, Saratov, Bolshaya Kazatchja St., 112  
e-mail: ermokhinmv@info.sgu.ru

On the basis of the morpho-anatomic analysis midges females of 36 species of genus *Chironomus* Meigen (Chironomidae, Diptera) from two subgenuses – *Chironomus s. str.* and *Camptochironomus* the review of morphological attributes with an estimation their taxonomic importance is content.

Key words: morphology, midges, imago, females, *Chironomus*, *Camptochironomus*.

## **ВОДОРΟΣЛИ Р. КИТОЙ И ЕЕ ПОЙМЕННЫХ ВОДОЕМОВ**

**Р.В. Светличный, И.Н. Егорова\*, Е.А. Судакова**

Иркутский государственный педагогический университет

\*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН

664011, г. Иркутск, ул. Желябова, 2, ИГПУ

e-mail mail@isttu.irk.ru

Приводится флористический состав водорослей среднего и нижнего течения р. Китой (левобережный приток р. Ангары) и ее пойменных водоемов, насчитывающий 346 внутривидовых разновидностей и форм.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Изучение видового разнообразия водорослей р. Китой проводится авторами с 1995 г. [4, 9, 10]. В настоящей работе представлены обобщающие данные по составу и экологии водорослей болот, стариц и рек средней и нижней части бассейна реки.

Этот левобережный приток Ангары берет начало на гольце Ну-ху-Дабан в центральной части Восточного Саяна и течет с юго-запада на северо-восток. Протяженность реки 316 км, площадь водосбора 9190 км<sup>2</sup>, высота падения 1500 м. Питание осуществляется за счет атмосферных осадков, имеющих наибольшее значение, а также подземных вод и таяния снежников [2]. Климат региона характеризуется как резко континентальный. Среднегодовое количество осадков, основная масса которых приходится на летние месяцы, составляет 400–500 мм [1]. Небольшие водоемы хорошо прогреваются летом, а зимой многие из них промерзают до дна.

### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследования альгофлоры в бассейне р. Китой проводили в течение 1995–2001 гг. преимущественно в весеннее – осенний период. Всего было собрано и обработано 126 проб фитобентоса (76 в среднем и 50 в нижнем течении реки) и 12 проб фитопланктона. Для сбора, обработки и определения водорослей использованы общепринятые методики [3, 8]. Основная часть материала была просмотрена в живом состоянии.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Всего в составе альгоценозов исследованных водоемов было выявлено 298 видов водорослей из 6 отделов, представленных 346 внутривидовыми разновидностями и формами: Cyanophyta – 57 или



16.5% от общего числа таксонов, Chlorophyta – 108 (31%), Bacillariophyta – 156 (45%), Xanthophyta – 10 (3%), Chrysophyta – 3 (1%), Euglenophyta – 12 (3.5%). В табл. 1 приведены 22 наиболее флористически богатых рода, включающие от 5 до 17 таксонов.

**Таблица 1.** Спектр ведущих родов альгофлоры р. Китой.

Отделы	Классы	Роды	Число видов, разновидностей и форм	% от общего числа таксонов
Cyanophyta	<b>Hormogoniophyceae</b>	<i>Oscillatoria</i>	14	4.0
		<i>Phormidium</i>	6	1.7
		<i>Anabaena</i>	7	2.0
		<i>Nostoc</i>	5	1.4
		<i>Lyngbya</i>	5	1.4
Chlorophyta	<i>Conjugataceae</i>	<i>Closterium</i>	17	4.9
		<i>Cosmarium</i>	13	3.8
		<i>Spirogyra</i>	10	2.9
		<i>Euastrum</i>	5	1.4
	<i>Chlorophyceae</i>	<i>Ankistrodesmus</i>	6	1.7
		<i>Scenedesmus</i>	5	1.4
		<i>Pinnularia</i>	18	5.2
Bacillariophyta	<i>Pennatophyceae</i>	<i>Cymbella</i>	14	4.0
		<i>Eunotia</i>	9	2.6
		<i>Hantzschia</i>	8	2.3
		<i>Navicula</i>	17	4.9
		<i>Gomphonema</i>	10	2.9
		<i>Synedra</i>	8	2.3
		<i>Stauroneis</i>	6	1.7
		<i>Nitzschia</i>	10	2.9
	<i>Centrophyceae</i>	<i>Melosira</i>	6	1.7
		<i>Tribonema</i>	7	2.0
Xanthophyta	<i>Xanthotrichophyceae</i>			

В связи с различием географических условий видовой состав водорослей в среднем и нижнем течении реки весьма специфичен. Для первого региона выявлено 265 разновидностей и форм для второго – 151. Показатель сходства альгофлоры этих регионов, оцененный по коэффициенту Серенсена – Чекановского [5], составляет 40%.

В составе альгоценозов повсеместно преобладают диатомовые водоросли, образующие массовые скопления. Диатомеи выступают в роли доминантов, большинство видов характеризуются широким распространением. Заметную роль играют крупноклеточные формы *Pinnularia*, *Navicula*, а также *Stauroneis*, *Cymbella*, *Hantzschia*, *Eunotia*, *Gomphonema*. Из колониальных планктонных широко распространены *Fragilaria* и *Melosira*, из одноклеточных *Synedra* и некоторые другие. В сфагновых болотах по долине р. Тойсук обнаружен редко встречающийся вид *Stenopterobia intermedia*.

Синезеленые водоросли встречаются в виде отдельных нитей или рассеянных колоний. В массе отмечены лишь колонии *Nostoc linckia* и *N. pruniforme*. Среди зеленых водорослей наиболее богаты видами роды из класса конъюгат, наибольшее видовое разнообразие которых характерно для болот и стариц; в быстротекущей воде оно снижается. Аналогичные данные получены и другими исследователями, отмечающими высокое видовое богатство этой группы в сфагново-разнотравных и гипновых эвтрофных и мезотрофных болотах лесного типа [7, 12]. Нитчатые конъюгаты широко представлены родом *Spirogyra*, в меньшей мере – *Mougeotia* и *Zygnema*. Эти водоросли образуют ватообразные скопления в стоячих хорошо прогреваемых водоемах. Одноклеточные формы *Cosmarium*, *Closterium*, *Staurastrum*, *Xantidium*, *Euastrum* и др. наиболее разнообразны в болотах. Они предпочитают мягкие воды с низким уровнем pH и с присутствием гуминовых кислот [6]. Обращает на себя внимание слабое развитие одноклеточных хлорококковых (*Chlorella*, *Chlorococcum* и др.), а также часто встречающиеся колонии *Ankistrodesmus* и *Scenedesmus*. Среди представителей желтозеленых повсеместно распространены виды рода *Tribonema*, которые характерны для стоячих водоемов. Эвгленовые водоросли в массе зафиксированы осенью 2000 г. в стоячих хорошо прогреваемых водоемах дистрофного типа по долине р. Тойсук.

Первый флористический список водорослей бассейна р. Китой с указанием характера местообитания приведен в табл. 2. В планктоне и бентосе в основном были отмечены одни и те же формы, что является характерной особенностью горных рек [11].

**Таблица 2.** Флористический состав водорослей водоемов средней (С) и нижней (Н) части бассейна р. Китой.

Виды, разновидности, формы	Болота	Стоячие водоемы		Проточные водоемы	
	С	С	Н	С	Н
<b>Цианопхита</b>					
<i>Synechocystis aquatilis</i> Sauv.	+	+	+	-	-
<i>S. major</i> Schröt f. <i>crassus</i> (Arch.) Elenk.	-	+	-	-	-
<i>Synechococcus aeruginosus</i> Näg.	-	+	-	+	+
<i>Dactilococcopsis raphidioides</i> Hansg.	-	-	-	+	-
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehr.) Näg.	+	-	-	-	+
<i>M. major</i> (G. Sm.) Geitl	-	-	+	-	-
<i>M. punctata</i> Meyen	-	-	+	-	-
<i>M. tenuissima</i> Lemm.	-	-	+	-	-
<i>Microcystis aeruginosa</i> Kütz. emend. Elenk.	+	-	+	+	-
<i>M. grevillei</i> (Hass.) Elenk.	-	-	-	-	+
<i>M. muscicola</i> (Menegh.) Elenk.	-	+	-	-	-
<i>M. pulvere</i> (Wood.) Forti emend. Elenk.	+	-	-	-	-
<i>Aphanotece elabens</i> (Breb.) Elenk.	+	-	+	-	-
<i>A. stagnina</i> (Spreng.) Peters. et Geitl.	+	-	-	+	-
<i>Dzensia salina</i> Woronich.	-	-	+	-	-
<i>Nostoc coeruleum</i> Lyngb.	-	-	+	-	-
<i>N. linckia</i> (Roth) Born. et Flah.	+	+	-	+	-
<i>N. paludosum</i> Kütz.	+	+	-	+	-
<i>N. pruniforme</i> Ag.	-	-	+	-	-
<i>N. punctiforme</i> (Kütz.) Hariot	+	-	-	+	-
<i>Anabaena affinis</i> Lemm.	+	-	-	-	-
<i>A. flos-aqua</i> (Wittr.) Elenk.	-	-	-	-	+
<i>A. hallensis</i> (Janez.) Born. et Flah.	+	-	-	-	-
<i>A. laxa</i> (Rabenh.) A. Br.	-	-	+	-	-
<i>A. variabilis</i> Kütz.	-	-	-	-	+
<i>A. verrucosa</i> Peters.	+	-	-	-	-
<i>A. sp.</i>	+	+	-	+	-
<i>Tolypothrix tenuis</i> Kütz.	+	-	+	-	+
<i>Hydrocorine spongiosa</i> Schwabe	+	-	-	-	-
<i>Oscillatoria amphibia</i> Ag.	-	-	+	-	-
<i>O. curviceps</i> Ag.	-	-	+	-	-
<i>O. deflexoides</i> Elenk. et Kossinsk.	-	-	-	-	+
<i>O. formosa</i> Bory	+	-	-	-	-
<i>O. geminata</i> (Menegh.) Gom.	+	-	-	-	+
<i>O. limosa</i> Ag.	+	-	-	-	-
<i>O. mougeotii</i> (Kütz.) Forti	-	-	+	-	-
<i>O. princeps</i> Vauch.	-	+	-	-	-
<i>O. proboscidea</i> Gom.	-	+	-	-	-
<i>O. pseudogeminata</i> Schmid	+	+	+	-	-

Виды, разновидности, формы	Болота	Стоячие водоемы		Проточные водоемы	
	С	С	Н	С	Н
<i>O. simplicissima</i> Gom.	+	-	+	-	-
<i>O. splendida</i> Grev.	+	-	+	+	-
<i>O. terebriformis</i> (Ag.) Elenk.	+	-	+	+	-
<i>O. terebriformis</i> f. <i>tenuis</i> (Woronich.) V. Poljansk.	+	-	-	-	-
<i>Spirulina tenuissima</i> Kütz.	-	-	+	-	-
<i>Phormidium ambiquum</i> Gom.	+	-	+	-	-
<i>Ph. ambiquum</i> f. <i>majus</i> (Lemm.) Elenk.	-	-	+	-	-
<i>Ph. cincinnatum</i> Itz.	+	-	+	-	-
<i>Ph. frigidum</i> Fritsch	-	-	-	+	-
<i>Ph. Inundatum</i> Kütz.	+	+	-	-	-
<i>Phormidium purpurascens</i> (Kütz.) Gom.	-	-	+	-	-
<i>Lyngbya birgei</i> G. Sm.	-	-	-	+	-
<i>L. cryptovaginata</i> Schkorb.	+	-	-	+	-
<i>L. hieronimusii</i> Lemm.	+	-	+	-	-
<i>L. martensiana</i> Menegh.	-	+	-	-	-
<i>L. putealis</i> Mont.	+	-	-	-	-
<i>Plectonema nostocorum</i> Born.	-	+	-	-	-
<i>P. tomasinianum</i> (Kütz.) Born.	-	-	-	+	+
<b>Chlorophyta</b>					
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> Dang.	+	+	+	-	-
<i>Tetraspora gelatinosa</i> (Vauch.) Desv.	-	-	+	-	+
<i>Apiocystis brauniana</i> Näg.	-	-	+	-	-
<i>Chlorococcum humicola</i> (Näg.) Rabenh.	+	-	+	-	+
<i>Ch. infusionum</i> (Schränk) Menegh.	-	+	+	-	-
<i>Trebouxia arboricola</i> Puym.	+	+	-	-	-
<i>Tetraedron</i> sp.	+	-	-	-	-
<i>Characium ornitocephalum</i> A. Br.	-	-	+	-	-
<i>Scotiellopsis</i> sp.	+	-	-	-	-
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer.	+	+	-	-	+
<i>Eremosphaera viridis</i> De Bary	+	-	-	-	-
<i>Ankistrodesmus acicularis</i> (A. Br.) Korsch.	+	+	+	+	-
<i>A. angustus</i> Bern. Ssensu Korsch.	-	-	+	-	-
<i>A. arcuatus</i> Korsch.	+	-	+	+	-
<i>A. fusiformis</i> Corda et Korsch.	-	-	-	+	-
<i>A. mucosus</i> Korsch.	+	-	-	-	-
<i>A. pseudomirabilis</i> Korsch.	+	-	+	-	-
<i>Tetracystis aggregata</i> R. Brown et Bold	-	-	+	-	-
<i>Coenocystis subcilindrica</i> Korsch.	+	-	-	-	-
<i>Bracteacoccus minor</i> (Chod.) Ju. Petr.	-	-	+	-	-
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> A. Wood.	-	-	+	-	+
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerh.) Chod.	+	-	-	-	-

Виды, разновидности, формы	Болота	Стоячие водоемы		Проточные водоемы	
	С	С	Н	С	Н
<i>S. bijugatus</i> (Turp.) Kütz.	+	+	+	+	-
<i>S. denticulatus</i> Lagerh. var. <i>linearis</i> Hansg.	+	-	-	-	-
<i>S. quadricauda</i> (Turp.) Breb.	+	+	-	+	+
<i>S. obliquus</i> (Turp.) Kütz.	+	+	+	-	-
<i>Pediastrum biradiatum</i> Meyen	+	+	-	-	-
<i>P. boryanum</i> (Turp.) Menegh.	+	+	+	-	-
<i>P. duplex</i> Meyen	+	-	+	-	-
<i>P. tetras</i> (Ehr.) Ralfs	+	-	+	-	-
<i>Ulothrix zonata</i> Kütz.	+	-	+	+	+
<i>Rhizoclonium hieroglyphicum</i> Kütz.	-	-	+	-	-
<i>Chloroplana terricola</i> Hollerb.	+	-	-	-	-
<i>Chaetophora elegans</i> Roth	-	-	+	-	-
<i>Draparnaldia gorochankinii</i> C. Mejer	-	-	+	-	-
<i>Dr. sp.</i>	-	+	-	+	-
<i>Oedogonium echinospermum</i> A. Br.	+	+	+	-	-
<i>O. oblongum</i> Wittr.	+	-	-	-	-
<i>Cladophora fracta</i> (O.F. Müll. et Vahl) Kütz.	-	+	+	+	-
<i>Cladophora glomerata</i> (L.) Kütz.	+	+	-	+	-
<i>Koliella longiseta</i> (Visch.) Hang.	-	-	-	-	+
<i>Zygnema sp.</i>	-	-	+	-	+
<i>Z. sp.</i>	+	-	-	+	-
<i>Mougeotia laetevirens</i> (A. Br.) Wittr.	-	-	-	-	+
<i>M. parvula</i> Hass.	-	-	+	-	-
<i>M. sp.</i>	+	+	-	+	-
<i>Spirogyra bellis</i> (Hass.) Cl.	-	+	-	-	+
<i>S. condensata</i> (Vauch.) Kütz.	+	-	-	-	-
<i>S. decimina</i> (O.F. Müll.) Kütz.	-	-	-	-	+
<i>S. hassalii</i> (Jenn.) Petit	+	-	+	-	-
<i>S. insignis</i> (Hass.) Kütz.	+	+	+	-	-
<i>S. inflata</i> (Vauch.) Kütz.	-	-	+	-	+
<i>S. neglecta</i> (Hass.) Kütz.	+	+	+	+	-
<i>S. setiformis</i> (Roth) Kütz.	-	-	+	-	-
<i>S. varians</i> (Hass.) Kütz.	-	-	+	-	-
<i>S. sp.</i>	+	-	-	-	-
<i>Netrium digitus</i> (Ehr.) Itz. et Rothe	-	-	-	+	-
<i>N. oblongum</i> (De Bary) Letkem.	+	+	-	-	-
<i>Closterium angustatum</i> Kütz.	+	+	+	-	-
<i>C. acutum</i> (Lyngb.) Breb.	+	-	-	-	-
<i>C. archerianum</i> Cl.	+	+	-	+	-
<i>C. acerosum</i> (Sche.) Ehr.	+	+	-	+	-
<i>C. acerosum</i> f. <i>minus</i> (Hantzsch) Kossinsk.	+	-	-	-	-

Виды, разновидности, формы	Болота	Стоячие водоемы		Проточные водоемы	
	С	С	Н	С	Н
<i>C. ehrenbergii</i> Menegh.	+	-	-	-	-
<i>C. intermedium</i> Ralfs	-	+	-	-	-
<i>C. kützingii</i> Breb.	-	+	+	-	-
<i>C. littorale</i> Gay	-	+	-	-	-
<i>C. macilentum</i> Breb.	-	+	-	-	-
<i>C. moniliferum</i> (Bory) Ehr.	-	+	-	-	-
<i>C. parvulum</i> Näg.	+	+	+	+	-
<i>C. praelongum</i> Breb.	+	-	-	-	-
<i>C. rostratum</i> Ehr.	+	-	-	-	-
<i>C. striolatum</i> Ehr.	+	-	-	-	-
<i>C. turgidum</i> Ehr.	+	+	+	+	-
<i>C. sp.</i>	-	+	-	-	-
<i>Pleurotaenium ehrenbergii</i> (Breb.) De Bary	-	+	+	-	-
<i>P. minutum</i> (Ralfs) Defl.	+	-	-	-	-
<i>P. trabecula</i> (Ehr.) Näg.	+	+	-	-	-
<i>P. truncatum</i> (Breb.) Näg.	+	+	-	-	-
<i>Euastrum bidentatum</i> Näg.	+	-	-	-	-
<i>E. binale</i> (Turp.) Ehr.	+	-	-	-	-
<i>E. divaricatum</i> Lund.	+	+	-	+	-
<i>E. oblongum</i> (Grev.) Ralfs	+	+	-	-	-
<i>E. verrucosum</i> Ehr.	+	-	-	-	-
<i>Micrasterias cruxmelitensis</i> (Ehr.) Hass.	+	-	-	-	-
<i>M. rotata</i> (Grev.) Ralfs	+	-	-	-	-
<i>Actinotaenium cucurbita</i> (Breb.) Teil.	+	-	-	-	-
<i>Cosmoastrum brebissonii</i> (Arch.) Pal.-Mordv.	+	+	-	+	-
<i>Cosmoastrum echinatum</i> (Breb.) Pal.-Mordv.	+	-	-	-	-
<i>Staurodesmus mucronatus</i> (Ralfs) Croasd.	+	-	-	-	-
<i>Stauroastrum gracile</i> Ralfs var. <i>nanum</i> Wille	-	+	-	-	-
<i>S. paradoxum</i> Meyen	-	+	-	-	-
<i>S. sp.</i>	+	-	-	-	-
<i>Cosmarium botrytis</i> Menegh.	+	-	-	-	-
<i>C. circulare</i> Reinsch	-	-	+	-	-
<i>C. cucumis</i> (Corda) Ralfs	+	-	+	-	-
<i>C. meneghinii</i> Breb.	+	-	-	-	-
<i>C. portianum</i> Arch.	+	+	-	-	-
<i>C. praegrande</i> Lund.	+	+	-	-	-
<i>C. pyramidatum</i> Breb.	+	-	-	-	-
<i>C. reniforme</i> (Ralfs) Arch.	+	+	-	+	-
<i>C. undulatum</i> Corda	+	-	+	-	-
<i>C. venustum</i> (Breb.) Arch.	+	-	-	-	-
<i>C. sp.</i>	+	+	-	-	-

Виды, разновидности, формы	Болота	Стоячие водоемы		Проточные водоемы	
	С	С	Н	С	Н
<i>Xantidium antilopaeum</i> (Breb.) Kütz.	+	-	-	-	-
<i>X. concinnum</i> Arch.	+	-	-	-	-
<i>Hyalotheca dissiliens</i> (Smith) Breb.	-	+	+	-	-
<i>Desmidium schwartzii</i> Ag.	+	+	-	+	-
<b>Bacillariophyta</b>					
<i>Melosira baicalensis</i> (C. Meyer) Wisl.	+	-	-	-	-
<i>M. granulata</i> (Ehr.) Ralfs	+	-	-	+	-
<i>M. italica</i> (Ehr.) Kütz.	+	-	-	-	-
<i>M. islandica</i> O.F. Müll.	-	+	+	-	-
<i>M. varians</i> Ag.	+	+	-	+	-
<i>M. sp.</i>	-	+	-	+	-
<i>Cyclotella antiqua</i> W. Sm.	+	-	-	-	-
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz.	+	+	-	-	-
<i>T. fenestrata</i> var. <i>intermedia</i> Grun.	-	-	-	+	-
<i>T. flocculosa</i> (Roth) Kütz.	+	+	-	+	-
<i>Meridion circulare</i> Ag.	+	-	-	+	+
<i>M. circulare</i> var. <i>constrictum</i> Ralfs	-	-	-	-	+
<i>Diatoma anceps</i> (Ehr.) Kirchn.	-	-	-	+	-
<i>D. elongatum</i> (Lyngb.) Ag.	-	-	+	-	-
<i>D. hiemale</i> (Lyngb.) Heib.	-	+	-	-	-
<i>D. vulgare</i> Bory	+	-	+	-	+
<i>Fragilaria capucina</i> Desm.	+	+	-	+	-
<i>F. construens</i> (Ehr.) Grun.	+	+	-	+	-
<i>F. leptostauron</i> (Ehr.) Hust.	+	-	-	-	+
<i>F. virescens</i> Ralfs	+	-	-	-	-
<i>F. virescens</i> f. <i>crotonensis</i> Kitt.	-	-	-	-	+
<i>Ceratoneis arcus</i> (Ehr.) Kütz.	+	+	-	+	+
<i>C. arcus</i> var. <i>amphyoxis</i> (Rabenh.) Brun	+	-	-	+	-
<i>C. arcus</i> var. <i>linearis</i> Holmboe	-	-	-	+	-
<i>C. arcus</i> var. <i>linearis</i> f. <i>recta</i> (Skv. et Meyer) Pr.-Lavr.	-	-	-	+	-
<i>Synedra acus</i> Kütz.	+	+	+	-	-
<i>S. parasitica</i> (W. Sm.) Hust.	-	-	-	-	+
<i>S. pulchella</i> (Ralfs) Kütz.	+	-	-	-	-
<i>S. gouldarii</i> (Breb.) Grun.	-	-	-	-	+
<i>S. tabulata</i> (Ag.) Kütz.	-	-	-	+	-
<i>S. vaucheria</i> Kütz.	-	-	-	-	+
<i>S. ulna</i> (Nitzsch.) Ehr.	+	+	+	+	-
<i>S. ulna</i> var. <i>danica</i> (Kütz.) Grun.	-	-	-	-	+
<i>Eunotia arqus</i> Ehr. var. <i>fallax</i> Grun.	+	-	-	-	-
<i>E. bidentula</i> W. Sm.	+	-	-	-	-
<i>E. faba</i> (Ehr.) Grun.	+	-	-	-	-
<i>E. fallax</i> A. Cl. var. <i>gracillima</i> Krasske	-	+	-	-	-

Виды, разновидности, формы	Болота	Стоячие водоемы		Проточные водоемы	
	С	С	Н	С	Н
<i>E. gracilis</i> (Ehr.) Rabenh.	+	+	-	-	-
<i>E. lunaris</i> (Ehr.) Grun.	+	+	-	-	-
<i>E. monodon</i> Ehr.	-	+	-	-	-
<i>E. monodon</i> var. <i>major</i> (W. Sm.) Hust.	+	-	-	-	-
<i>E. praerupta</i> Ehr.	+	-	-	-	-
<i>Cocconeis disculus</i> (Schum.) Cl.	+	-	-	-	-
<i>C. pediculus</i> Ehr.	-	-	-	-	+
<i>C. placentula</i> Ehr.	+	-	-	-	+
<i>C. skvortzowii</i> (Skv.) Sheshuk.	-	+	-	-	-
<i>C. sp.</i>	+	-	-	-	-
<i>Achnanthes lanceolata</i> (Breb.) Grun.	+	-	-	+	-
<i>A. minutissima</i> Kütz.	-	-	-	-	+
<i>A. gracillima</i> Hust.	-	-	-	-	+
<i>A.sp.</i>	+	-	-	+	-
<i>Stauroneis phoenicenteron</i> Ehr.	+	-	-	-	-
<i>S. anceps</i> Ehr.	+	+	-	-	+
<i>S. anceps</i> var. <i>sibirica</i> Grun.	+	+	-	+	-
<i>S. anceps</i> var. <i>hyalina</i> Brun. et Perag.	+	-	-	-	-
<i>S. anceps</i> f. <i>linearis</i> (Ehr.) Cl.	+	-	-	-	-
<i>S. anceps</i> f. <i>gracilis</i> (Ehr.) Cl.	+	-	-	-	-
<i>Navicula bacillum</i> Ehr.	-	-	-	-	+
<i>N. binodis</i> Ehr.	-	-	+	-	-
<i>N. cryptocephala</i> Kütz.	-	-	-	-	+
<i>N. cryptocephala</i> var. <i>intermedia</i> Grun.	-	-	-	-	+
<i>N. dicephala</i> (Ehr.) W. Sm.	+	+	+	+	-
<i>N. mutica</i> Kütz.	-	+	-	-	-
<i>N. mutica</i> var. <i>ventricosa</i> (Kütz.) Cl.	-	+	-	-	-
<i>N. pupula</i> Kütz.	+	+	-	+	-
<i>N. radiosa</i> Kütz.	-	-	-	-	+
<i>N. reinhardtii</i> (Grun.) Cl.	-	-	-	-	+
<i>N. hungarica</i> Grun.	-	-	-	-	+
<i>N. salinarum</i> Grun.	-	+	-	-	-
<i>N. placentula</i> (Ehr.) Grun.	-	-	-	-	+
<i>N. lanceolata</i> (Ag.) Kütz.	-	-	-	-	+
<i>N. wislouchii</i> Skv.	-	-	-	-	+
<i>N. schöenfeldii</i> Hust.	+	-	-	-	-
<i>N. viridula</i> Kütz.	-	-	-	-	+
<i>Pinnularia acrosphaeria</i> Breb.	+	-	-	+	-
<i>P. borealis</i> Ehr.	+	+	-	+	-
<i>P. brevicostata</i> Cl.	+	-	-	-	-
<i>P. brevicostata</i> var. <i>leptostauron</i> Cl.	+	-	-	-	-
<i>P. dactylis</i> Ehr.	-	-	+	-	-
<i>P. gibba</i> Ehr.	+	-	-	+	+



Виды, разновидности, формы	Болота	Стоячие водоемы		Проточные водоемы	
	С	С	Н	С	Н
<i>P. intermedia</i> Lagerst.	+	-	-	-	-
<i>P. interrupta</i> W. Sm.	+	+	+	+	-
<i>P. interrupta</i> f. <i>minutissima</i> Hust.	+	-	-	-	-
<i>P. major</i> (Kütz.) Cl.	+	+	+	-	-
<i>P. major</i> var. <i>lacustris</i> Meist.	+	-	-	-	-
<i>P. major</i> var. <i>hyalina</i> (Hust.) Skabitsch.	-	+	-	-	-
<i>P. melosepta</i> (Ehr.) W. Sm.	+	+	-	+	-
<i>P. microstauron</i> (Ehr.) Cl. var. <i>ambigua</i> Meist	-	+	-	-	-
<i>P. microstauron</i> var. <i>biundulata</i> O. Mull.	-	-	-	-	+
<i>P. nobilis</i> Ehr.	+	-	-	+	-
<i>P. viridis</i> (Nitzsch) Ehr.	+	-	-	-	-
<i>P. viridis</i> var. <i>clevei</i> Meist	+	-	-	-	-
<i>Neidium dubium</i> (Ehr.) Cl.	-	-	-	-	+
<i>N. iridis</i> (Ehr.) Cl. var. <i>ampliatum</i> (Ehr.) Cl.	-	-	-	+	-
<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cl.	-	-	-	-	+
<i>C. bacillum</i> (Grun.) Mejer	+	+	-	-	-
<i>C. silicula</i> Ehr. var. <i>truncatula</i> Grun.	+	-	-	-	-
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenh.	-	-	+	-	-
<i>G. kützingii</i> (Grun.) Cl.	-	-	-	+	-
<i>G. scalproides</i> (Rabenh.) Cl.	-	-	-	+	-
<i>Amphora ovalis</i> Kütz.	+	-	-	+	-
<i>Cymbella affinis</i> Kütz.	+	-	-	+	-
<i>C. ctuxbergii</i> Cl.	-	-	-	-	+
<i>C. ehrenbergii</i> Kütz.	+	-	-	-	-
<i>C. gracilis</i> (Rabenh.) Cl.	-	-	-	-	+
<i>C. helfetica</i> Kütz.	+	-	-	-	-
<i>C. hustedtii</i> Krasske	+	-	+	+	+
<i>C. pusilla</i> Grun.	-	-	-	-	+
<i>C. lanceolata</i> (Ehr.) V. H.	-	+	-	+	-
<i>C. sinuata</i> Greg.	-	-	-	-	+
<i>C. naviculiformis</i> Auersw.	+	-	-	-	-
<i>C. tumidula</i> Grun.	+	+	-	-	-
<i>C. tumida</i> (Breb.) V. H.	+	-	-	-	-
<i>C. ventricosa</i> Kütz.	+	-	+	-	-
<i>C. sp.</i>	+	-	-	+	-
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngb.) M. Schm.	+	+	+	+	+
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehr.	+	+	-	+	+
<i>G. acuminatum</i> var. <i>coronatum</i> (Ehr.) W. Sm.	+	+	-	+	-
<i>G. angustatum</i> Kütz.	-	-	-	-	+
<i>G. constrictum</i> Ehr.	+	+	+	-	-

Виды, разновидности, формы	Болота	Стоячие водоемы		Проточные водоемы	
	С	С	Н	С	Н
<i>G. constrictum</i> var. <i>capitatum</i> (Ehr.) Cl.	+	-	-	+	-
<i>G. intricatum</i> Kütz.	-	-	-	-	+
<i>G. olivaceum</i> (Lyngb.) Kütz.	+	-	-	-	-
<i>G. quadripunctatum</i> (Ostr.) Wisl.	-	-	-	-	+
<i>G. lanceolatum</i> Ehr.	-	-	-	-	+
<i>G. parvulum</i> (Kütz.) Grun.	-	-	-	-	+
<i>G. ventricosum</i> Greg.	+	+	-	-	+
<i>Epithemia arqus</i> Kütz.	+	-	+	+	+
<i>E. sorex</i> Kütz.	+	-	-	-	-
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehr.) O. Müll.	+	-	+	+	-
<i>Rh. gibberula</i> Ehr. var. <i>vanheurckii</i> O. Müll.	+	-	-	-	-
<i>Hantzschia amphyoaxis</i> (Ehr.) Grun.	+	-	-	+	-
<i>H. amphyoaxis</i> var. <i>constrista</i> Pant.	+	-	-	-	-
<i>H. amphyoaxis</i> var. <i>compacta</i> Hust.	+	-	-	-	-
<i>H. amphyoaxis</i> var. <i>intermedia</i> Grun.	+	-	-	-	-
<i>H. amphyoaxis</i> var. <i>major</i> Grun.	+	-	-	-	-
<i>H. amphyoaxis</i> var. <i>subsalsa</i> Wisl. et Poretzky	-	+	-	-	-
<i>H. amphyoaxis</i> f. <i>capitata</i> O. Müll.	+	-	-	-	-
<i>H. elongata</i> (Hantzsch) Grun.	+	+	-	-	-
<i>Nitzschia acicularis</i> W. Sm.	+	-	+	+	+
<i>N. acuta</i> Hantzsch	+	-	+	+	-
<i>N. capitellata</i> Hust.	-	-	-	-	+
<i>N. dissipata</i> (Kütz.) Grun.	-	-	-	-	+
<i>N. fonticola</i> Grun.	-	-	-	-	+
<i>N. gracilis</i> Hantzsch.	-	-	-	-	+
<i>N. sigmoidea</i> (Ehr.) W. Sm.	-	-	-	-	+
<i>N. stagnorum</i> Rabenh.	+	-	-	+	-
<i>N. linearis</i> W. Sm.	-	-	-	-	+
<i>N. vermicularis</i> (Kütz.) Grun.	-	-	+	-	-
<i>Cymatopleura elliptica</i> (Breb.) W. Sm.	-	-	+	-	-
<i>C. solea</i> (Breb.) W. Sm.	-	-	+	-	-
<i>Stenopterobia intermedia</i> Lewis	+	-	-	-	-
<i>Surirella didyma</i> Kütz.	-	+	-	-	-
<i>S. elegans</i> Ehr.	-	+	-	-	-
<i>S. linearis</i> W. Sm. var. <i>constricta</i> (Ehr.) Grun.	+	-	-	-	-
<i>S. robusta</i> Ehr.	+	+	-	-	-
<b>Xanthophyta</b>					
<i>Botriodiopsis arhisa</i> Borzi	+	-	-	-	-
<i>Heterothrix tribonemoides</i> Pasch.	+	-	+	-	-
<i>Tribonema vulgare</i> Pasch.	+	+	+	-	-

Виды, разновидности, формы	Болота	Стоячие водоемы		Проточные водоемы	
	С	С	Н	С	Н
<i>T. viride</i> Pasch.	+	+	-	-	-
<i>T. affine</i> G. S. West	-	+	-	-	-
<i>T. subtilissimum</i> Pasch.	-	+	-	-	-
<i>T. minus</i> Hazen	+	-	-	+	-
<i>T. gayanum</i> Pasch.	+	-	-	+	-
<i>T. pyrenigerum</i> Pasch.	+	-	-	-	-
<i>Vaucheria</i> sp.	+	-	+	-	-
<b>Euglenophyta</b>					
<i>Trachellomonas dubia</i> Schwir. emend. Defl.	+	-	-	-	-
<i>T. superba</i> Schwir. emend. Defl.	+	-	-	-	-
<i>T. volvocina</i> Ehr. var. <i>derephora</i> Conrad	+	-	-	-	-
<i>Euglena intermedia</i> (Klebs) Schmitz	+	-	-	-	-
<i>E. mutabilis</i> Schmitz	-	+	-	+	-
<i>E. viridis</i> Ehr.	-	+	-	+	-
<i>Monomorphyna pyrum</i> (Ehr.) Mer.	-	+	-	-	-
<i>Phacus caudatus</i> Hubner	+	-	-	-	-
<i>Ph. hispidulus</i> (Eichw.) Lemm. f. <i>glabrus</i> Defl.	+	-	-	-	-
<i>Ph. monilatus</i> Stokes var. <i>suecicus</i> Lemm.	+	+	-	-	-
<i>Ph. orbicularis</i> Hubner	-	-	-	-	-
<i>Vacuolaria virescens</i> Gienk.	-	+	-	-	-
<b>Chrysophyta</b>					
<i>Dynobryon</i> sp.	-	-	+	-	-
<i>Synura uvella</i> Ehr. emend. Korsch.	-	-	-	+	-
<i>Chrysocapsa maxima</i> Geitl.	-	-	-	-	+
Всего:	207	108	91	84	72
		172		144	

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Байкала. М.: ФСГКР, 1993. 160 с.
2. Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР. Азиатская часть. М.: Мысль, 1978. 512 с.
3. Голлербах М.М., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Общая часть. Вып. 1. М.: Советская наука, 1951. 195 с.
4. Егорова И.А. Светличный Р.В. Судакова Е.А. Некоторые особенности болот и водоемов бассейна реки Китой (Южное Предбайкалье) // Современные проблемы байкаловедения. Иркутск: Иркут. ун-т., 2001. С. 98–109.

5. *Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г.* Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М.: Наука, 1989. 223 с.
6. *Мордвинцева Г.М.* Порядок десмидиевые (*Desmidiaceae*) // Жизнь растений: Водоросли и лишайники. Т. 3. М.: Просвещение, 1977. С. 321–337.
7. *Паламарь-Мордвинцева Г.М.* Десмидиевые водоросли Украинской ССР. Киев: Наукова думка, 1982. 240 с.
8. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
9. *Светличный Р.В., Рашидова З.М., Судакова Е.А.* Гидробиологическая характеристика вод нижнего течения р. Китой по показателям фитопланктона // Экология Байкала и Прибайкалья. Иркутск: Иркут. ун-т, 2001. С. 119.
10. *Светличный Р.В.* Альгофлора водоемов окрестностей поселка Китой Ангарского района // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока. Красноярск: КГПУ, 2001. С. 46–47.
11. *Кукси М.С.* Диатомовые водоросли р. Белокурихи (Алтай) // Новости географии и систематики растений Сибири. Новосибирск: Наука, 1973. С. 98–105.
12. *Штина Э.А., Антипина Г.С., Козловская Л.С.* Альгофлора болот Карелии и ее динамика под воздействием естественных и антропогенных факторов. Л.: Наука, 1981. 269 с.

## **ALGAE OF THE KITOY RIVER AND WATERBODIES OF ITS MID AND LOWER REACHES**

**R.V. Svetlichny, I.N. Egorova\*, E.A. Sudakova**

Irkutsk State Pedagogical University,  
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk

Algaeflora of the Kitoy river (left tributary of the Angara river) in its mid and lower reaches is under consideration. The list of algae including 346 taxa is given.

**ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ  
ПИГМЕНТОВ В КУЛЬТУРАХ МОРСКИХ ПЛАНКТОННЫХ  
ВОДРОСЛЕЙ *TETRASELMIS VIRIDIS* (PRASINOPHYTA)  
И *THALASSIOSIRA WEISSFLOGII* (BACILLARIOPHYTA)  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСТОЧНИКА АЗОТА И  
УРОВНЯ ОСВЕЩЕННОСТИ**

**А.Ю. Уланова, М.Е. Ильяшенко, Т.А. Белевич**

Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

119992, Москва, Воробьевы горы, 12

e-mail: arctos@online.ru

Содержание фотосинтетических пигментов оценивали через 1, 2 и 3 суток после внесения мочевины и нитратов в различных концентрациях в азот лимитированные культуры водорослей *Tetraselmis viridis* и *Thalassiosira weissflogii*, растущие при двух уровнях освещенности. В обоих случаях динамика содержания пигментов видоспецифично зависела от источника азота. У водоросли *Tetraselmis viridis* концентрация пигментов возростала быстрее при использовании нитратов, у *Thalassiosira weissflogii* – мочевины. Показано, что у обоих видов водорослей скорость накопления пигментов снижается с увеличением концентрации добавок мочевины и нитратов.

**ВВЕДЕНИЕ**

В фотическом слое морей в летний период отмечается низкое содержание минерального азота, тогда как концентрация растворенного органического азота может достигать высоких значений [12]. При этом наблюдается интенсивное развитие фитопланктона, который представлен, как это показано для Белого моря [1, 2], в основном миксотрофными водорослями. Азотное лимитирование ведет к подавлению синтеза белков на уровне трансляции, что ведет к снижению клеточного содержания фотосинтетических пигментов [11]. При недостатке минеральных форм азота водоросли могут использовать растворенные органические субстраты, в частности – мочевину [6]. Фитопланктон является основным потребителем мочевины в морских экосистемах [7], поскольку константы полунасыщения, характеризующие ее потребление, у водорослей выше, чем у бактерий [10]. Азот мочевины составляет от 20 до 50% в суммарном количестве азота, ассимилируемого фитопланктоном в морских водах [14]. Потребление мочевины идет за счет активного транспорта [16] с использованием в основном АТФ, образованной при фотофосфорилировании [13], скорость потребления зависит от уровня освещенности. Летом в природных

экосистемах водоросли в поверхностных горизонтах подвержены стрессу фотоингибирования, а на нижней границе фотической зоны испытывают дефицит световой энергии.

Несмотря на признание значимости азота мочевины в питании фитопланктона, исследований динамики фотосинтетических пигментов при ассимиляции водорослями этого субстрата ранее не проводили. Цель настоящей работы – сравнительный анализ динамики содержания фотосинтетических пигментов у исходно лимитированных по азоту морских водорослей *Tetraselmis viridis* и *Thalassiosira weissflogii* при ассимиляции мочевины и нитратов в зависимости от уровня освещенности.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для работы послужили альгологически чистые культуры морской водоросли *Tetraselmis viridis* (Rouch.) Morris (Prasinophyta) и эвригалинной водоросли *Thalassiosira weissflogii* (Grunov) G. Fryxell et. Hasle (Bacillariophyta). Условия культивирования водорослей и определение квантовой эффективности РЦ ФС II (флуоресцентным методом [4]) описаны в нашей предыдущей статье (Ильяшенко и др., наст. сб.).

Азот лимитированные культуры каждого вида, экспонировавшиеся при освещенности 100 мкЕ/(м<sup>2</sup>с), делили на три подпробы, в одну из которых вносили добавки мочевины, в другую – нитратов в концентрации 0.89 ммоль азота, что соответствует его содержанию в среде f/2; третья служила контролем. Культуры, экспонировавшиеся при освещенности 25 мкЕ/(м<sup>2</sup>с), делили на 7 подпроб, в 6 из которых вносили добавки мочевины или нитратов в концентрациях 0.89, 0.35 и 0.18 ммоль азота, соответствующие его содержанию в средах f/2, f/5 и f/10. Через 24, 48, 72 ч после внесения добавок определяли численность водорослей в камере Горяева и концентрацию фотосинтетических пигментов (стандартным спектрофотометрическим методом [3]). Относительную скорость увеличения концентрации хлорофилла и каротиноидов ( $r_{\text{хл}}$  и  $r_{\text{кар}}$ , сут<sup>-1</sup>) рассчитывали по формуле:

$$r = 1/T \ln (C_{t+1}/C_t),$$

где  $C_t$  и  $C_{t+1}$  – концентрация пигментов (мкг/мл) в момент времени  $t$  и  $t+1$ ,  $T$  – промежуток времени между наблюдениями. Аналогичным образом рассчитывали и относительную скорость популяционного роста ( $r_N$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Азот лимитированные водоросли характеризовались низким клеточным содержанием пигментов. С увеличением освещенности содержание хлорофилла (Хл) *a* и вспомогательных пигментов у *Thalassiosira weissflogii* возрастало, а у *Tetraselmis viridis* снижалось (табл. 1).

**Таблица 1.** Содержание фотосинтетических пигментов (пг/кл) у азот лимитированных водорослей *Tetraselmis viridis* и *Thalassiosira weissflogii* при различной освещенности.

Пигменты	Пределы	Среднее	Пределы	Среднее
	I <sub>1</sub>		I <sub>2</sub>	
<i>Tetraselmis viridis</i>				
Хл <i>a</i>	0.24–1.00	0.45	0.19–0.36	0.27
Хл <i>b</i>	0.13–0.35	0.23	0.11–0.20	0.15
Каротиноиды	0.68–1.57	1.03	0.48–0.93	0.69
<i>Thalassiosira weissflogii</i>				
Хл <i>a</i>	0.82–1.61	1.22	2.20–3.10	2.65
Хл <i>c</i>	0.16–0.28	0.21	0.48–0.51	0.50
Каротиноиды	2.35–2.95	2.65	3.35–4.41	3.88

**Примечание.** Здесь и в табл. 2: I<sub>1</sub> – 25 мкЕ/(м<sup>2</sup>с), I<sub>2</sub> – 100 мкЕ/(м<sup>2</sup>с).

После внесения добавок концентрация пигментов увеличивались уже через сутки (за исключением варианта роста при I<sub>2</sub> и самой высокой концентрации нитратов у *Thalassiosira weissflogii*) (табл. 2). Независимо от концентрации азота и освещенности у *Tetraselmis viridis* наибольшие значения  $\Gamma_{\text{хл}}$  достигались через сутки после внесения мочевины, а у *Thalassiosira weissflogii* – через 2 суток.

При увеличении концентрации азота в среде средние (за 3 суток роста) величины  $\Gamma_{\text{хл}}$  и  $\Gamma_{\text{кар}}$  снижались у обоих видов (табл. 2), в случае использования водорослью *Tetraselmis viridis* мочевины в качестве источника азота – резче, чем при использовании нитратов. В итоге при концентрации азота 0.18 ммоль более высокие значения  $\Gamma_{\text{хл}}$  и  $\Gamma_{\text{кар}}$  наблюдаются у водорослей, ассимилирующих мочевины, тогда как при концентрации азота 0.89 ммоль – у водорослей, потребляющих нитраты. У *Thalassiosira weissflogii* не зависимо от концентрации азота в среде и освещенности значения  $\Gamma_{\text{хл}}$  и  $\Gamma_{\text{кар}}$  выше у водорослей, использующих мочевины.

**Таблица 2.** Относительные скорости увеличения концентрации пигментов ( $r_{\text{хл}}$  – Хл  $a$ ,  $r_{\text{кар}}$  – каротиноиды) и популяционного роста водорослей ( $r_N$ ) при различной освещенности после внесения добавок азота (1 – 0.18, 2 – 0.35, 3 – 0.89 ммоль N).

Показатель, сут <sup>-1</sup>	Время опыта, сут	Нитраты				Мочевина			
		1	2	3	3	1	2	3	3
		I <sub>1</sub>			I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>			I <sub>2</sub>
<i>Tetraselmis viridis</i>									
$\Gamma_{\text{хл}}$	1	<u>1.25</u>	<u>0.74</u>	<u>0.99</u>	<u>1.80</u>	<u>1.35</u>	<u>0.94</u>	<u>0.77</u>	<u>1.40</u>
	$\Gamma_{\text{кар}}$	0.61	0.10	0.37	0.96	0.73	0.40	0.22	0.62
2		<u>0.44</u>	<u>0.85</u>	<u>0.47</u>	<u>0.84</u>	<u>0.54</u>	<u>0.22</u>	<u>0.72</u>	<u>1.10</u>
		0.46	0.67	0.32	0.89	0.33	0.10	0.52	1.05
3		<u>0.06</u>	<u>0.43</u>	<u>0.32</u>	<u>0.24</u>	<u>0.28</u>	<u>0.34</u>	<u>0</u>	<u>0.10</u>
		0	0.37	0.32	0.22	0.27	0.37	0	0.21
среднее		<u>0.58</u>	<u>0.67</u>	<u>0.59</u>	<u>0.96</u>	<u>0.72</u>	<u>0.50</u>	<u>0.49</u>	<u>0.87</u>
		0.35	0.42	0.34	0.69	0.45	0.29	0.25	0.64
$\Gamma_{\text{N}}$	среднее	0.11	0.10	0.14	0.15	0.07	0.13	0.07	0.17
<i>Thalassiosira weissflogii</i>									
$\Gamma_{\text{хл}}$	1	<u>0.22</u>	<u>0.27</u>	<u>0</u>	<u>0.01</u>	<u>0.51</u>	<u>0.19</u>	<u>0.49</u>	<u>0.10</u>
	$\Gamma_{\text{кар}}$	0	0.03	0	0	0.10	0	0.19	0.03
2		<u>0.09</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0.04</u>	<u>0.76</u>	<u>0.77</u>	<u>0.54</u>	<u>0.19</u>
		0	0	0.03	0	0.42	0.12	0.16	0.02
3		<u>0.33</u>	<u>0.08</u>	<u>0</u>	-	<u>0.23</u>	<u>0.43</u>	<u>0.32</u>	-
		0.12	0	0	-	0.17	0.30	0.11	-
среднее		<u>0.21</u>	<u>0.12</u>	<u>0</u>	<u>0.03</u>	<u>0.50</u>	<u>0.46</u>	<u>0.45</u>	<u>0.15</u>
		0.04	0.01	0.01	0	0.23	0.14	0.15	0.03
$\Gamma_{\text{N}}$	среднее	0.16	0.12	0.10	0.14	0.33	0.25	0.15	0.19

**Примечание.** Прочерк – отсутствие данных.

Относительная скорость накопления пигментов была выше, чем скорость роста (табл. 2), что обусловило увеличение их клеточного содержания у обоих видов (за исключением водоросли *Thalassiosira weissflogii*, росшей при I<sub>2</sub> и высокой концентрации нитратов, а также при I<sub>1</sub> и высокой концентрации обеих добавок).

При увеличении освещенности величины  $r_{\text{хл}}$  и  $r_{\text{кар}}$ , а также клеточное содержание пигментов возрастали у обоих видов. И хотя в исходном материале *Tetraselmis viridis* содержание пигментов было выше при I<sub>2</sub>, но уже через сутки после внесения добавок оно становилось более высоким у водорослей, росших при I<sub>1</sub>.

При обеспеченном азотом росте у водорослей различной таксо-



номической принадлежности и, в частности, у *Thalassiosira weissflogii* клеточное содержание Хл *a* возрастает при снижении освещенности [11]. У азот лимитированной водоросли *Thalassiosira weissflogii* с уменьшением освещенности клеточное содержание Хл *a* и вспомогательных пигментов снижалось, тогда как у *Tetraselmis viridis* – возрастало. Следовательно, в условиях дефицита азота закономерного снижения содержания Хл *a* с увеличением освещенности может не происходить. Это, вероятно, обусловлено большей степенью разобщенности светоулавливающего комплекса с РЦ ФСII у *Thalassiosira weissflogii* при более высокой освещенности.

Увеличение концентрации пигментов после внесения в азот лимитированные культуры мочевины свидетельствует о том, что оба вида ассимилируют этот субстрат, используя азота на восстановление фотосинтетического аппарата. При этом у *Tetraselmis viridis* скорость синтеза пигментов с использованием органического азота уступает таковой при ассимиляции нитратов, тогда как у *Thalassiosira weissflogii*, наоборот, превышает ее. Видоспецифичное различие скорости синтеза пигментов в зависимости от источника азота может быть обусловлено рядом причин.

После транспорта мочевины в клетку у одних водорослей (*Thalassiosira weissflogii*) она сразу ассимилируется на рост [8], а у других сначала накапливается в клетке в немодифицированном виде [13]. Возможно, *Tetraselmis viridis* относится ко этой группе, и более низкие скорости синтеза пигментов в первые трое суток ассимиляции мочевины есть результат накопления ее внутриклеточного пула.

У диатомовых и прازیнофитовых водорослей внутриклеточная трансформация мочевины катализируется уреазой [15], которая относится к конститутивным ферментам у *Thalassiosira weissflogii* [5]. Сведения о природе этого фермента у *Tetraselmis viridis* отсутствуют, но возможно, что он является индуцибельным, и на его на синтез расходуется часть клеточного вещества и энергии, что снижает их доступность для синтеза пигментов.

У водорослей, испытывающих дефицит азота, скорость потребления мочевины возрастает (у ряда видов – на порядок) за счет синтеза дополнительных переносчиков мочевины в клетку [15]. У *Tetraselmis viridis* наибольшая скорость синтеза пигментов достигалась через сутки после внесения мочевины, а у *Thalassiosira weissflogii* – через двое. Такая динамика может быть обусловлена тем, что у второго вида синтез переносчиков является более субстратно- и энергоемким процессом, чем у первого.

При увеличении концентрации добавок органического и мине-

рального азота средняя (за 3 суток роста) скорость синтеза пигментов снижается у обоих видов водорослей. По-видимому, при ассимиляции нитратов на их восстановление расходуется часть НАДФ Н и АТФ, образованных в световых реакциях фотосинтеза [9]. Это ведет к уменьшению количества восстановителя и энергии, доступных для использования в цикле Кальвина – Бенсона, и соответственно, к снижению скорости фотосинтетической фиксации углерода [9]. Снижение скорости анаболических процессов при ассимиляции нитратов проявляется, в частности, и в снижении скорости пигментного синтеза.

Снижение скорости синтеза пигментов при увеличении концентрации мочевины обусловлено, по-видимому, увеличением затрат вещества и энергии на синтез переносчиков для транспорта мочевины в клетку. С этой точки зрения высказанное предположение о большей субстратно- и энергоемкости синтеза переносчиков *Thalassiosira weissflogii* по сравнению с *Tetraselmis viridis* согласуется с тем, что скорость роста первой снижается с увеличением концентрации мочевины, тогда как у второй такого закономерного снижения не выявлено.

## ВЫВОДЫ

Водоросли *Thalassiosira weissflogii* и *Tetraselmis viridis*, испытывающие клеточный дефицит азота, при доступности мочевины ассимилируют этот субстрат. За счет азота мочевины восстанавливается синтез фотосинтетических пигментов. У *Tetraselmis viridis* скорость синтеза пигментов при использовании органического азота уступает таковой при ассимиляции нитратов, тогда как у *Thalassiosira weissflogii*, наоборот, превышает ее. Видоспецифичное различие в скорости синтеза фотосинтетических пигментов при внесении органического и минерального источников азота не зависит от уровня освещенности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 01–04–49859).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильяш Л.В., Кольцова Т.И., Сарухан-Бек К.К., Федоров В.Д. Эколого-ценотические стратегии популяций фитопланктона Белого моря // Вестн. МГУ. Сер. Биол. 1999. № 2. С. 24–31.
2. Ильяш Л.В., Федоров В.Д., Сарухан-Бек К.К. Динамика биомассы и функциональных характеристик беломорских диатомовых водорослей *Skeletonema costatum* и *Chaetoceros decipiens* при накопительном культивировании // Изв. РАН. Сер. биол. 1996. № 4. С. 472–477.
3. Кобленц-Мишке О.И. Экстрактный и безэкстрактный методы оп-

- ределения фотосинтетических пигментов в пробе // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. М. Наука. 1983. С. 114–125.
4. Маторин Д.Н., Васильев И.П., Ведерников В.И. Исследование фотоингибирования первичных реакций фотосинтеза у природных популяций фитопланктона Черного моря // Физиол. раст. 1992. Т. 39. № 3. С. 455–463.
  5. Antia N.J., Berland B.R., Bonin D.J., Maestrini S.Y. Effects of urea concentration in supporting growth of certain marine microplanktonic algae // Phycologia. 1977. Vol. 16. P. 105–111.
  6. Antia N.J., Harrison J.P., Oliveira L. The role of dissolved organic nitrogen in phytoplankton nutrition, cell biology and ecology // Phycologia. 1991. Vol. 30. P. 1–89.
  7. Billen G. Heterotrophic utilization and regeneration of nitrogen // Heterotrophic activity in the sea. N.Y.: Plenum Press, 1984. P. 313–355.
  8. Conover S.A.M. Partitioning of nitrogen and carbone in cultures of marine diatom *Thalassiosira fluviatilis* supplied with nitrate, ammonium or urea // Marine Biol. 1975. V. 32. P. 231–246.
  9. Huppe H.C., Turpin D.H. Integration of carbon and nitrogen metabolism in plant and algal cells // Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 1994. Vol. 45. P. 577–607.
  10. Jahns T., Zobel A., Kleiner D., Kaltwasser H. Evidence for carrier-mediated, energy- dependent uptake of urea in some bacteria // Arch. Microbiol. 1988. Vol. 149. P. 377–383.
  11. Kolber Z., Zehr J., Falkowski P.G. Effects of growth irradiance and nitrogen limitation on photosynthetic energy conversion in Photosystem II // Plant Physiol. 1988. Vol. 88. P. 923–929.
  12. Mantoura R.F.C., Owens N.J.P., Burkill P.H. Nitrogen biogeochemistry and modelling of Carmarthen Bay // Nitrogen cycling in coastal marine environments. N.Y.: Wiley, 1988. P. 415–441.
  13. Rees T.A.V., Syrett P.J. Mechanisms for urea uptake by the diatom *Phaeodactylum tricornutum*: the uptake of thiourea // New Phytologist. 1979. Vol. 83. P. 37–48.
  14. Sahlsten E., Sorensen F., Pettersson K. Planktonic nitrogen uptake in the south-eastern Kattegat // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1988. Vol. 121. P. 227–246.
  15. Syrett P.J., Lefley J.W. Nitrate and urea assimilation by algae // Perspectives in Experimental Biology. Vol. 2. Botany. Oxford: Pergamon Press, 1976. P. 221–234.
  16. Williams S.K., Hodson R.C. Transport of urea at low concentrations in *Chlamydomonas reinhardtii* // Bacteriol. 1977. Vol. 130. P. 266–273.

**PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS DYNAMIC IN CULTURES OF  
THE MARINE PLANKTONIC ALGAE *TETRASELMIS VIRIDIS*  
(PRASINOPHYTA) AND *THALASSIOSIRA WEISSFLOGII*  
(BACILLARIOPHYTA) IN RELATION TO THE  
NITROGEN SOURCES AND IRRADIANCE**

**A.Yu. Ulanova, M.E. Il'yashenko, T.A. Belevich**

Moskow State University, Biological Faculty, department of Hydrobiology

The concentration of photosynthetic pigments was estimated on *Tetraselmis viridis* and *Thalassiosira weissflogii* during 3 days after addition of different concentration of nitrate and urea to nitrogen-limited cultures grown under two levels of irradiance. It was revealed that under both irradiance pigment dynamic depended species-specificly on the nitrogen source. The rate of pigments accumulation was higher on *T. viridis* with nitrate and on *T. weissflogii* with urea. On both species the rate of pigments accumulation decreased when the concentration of urea or nitrate increased.

## **АНАЛИЗ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И ЭКСТЕРЬЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ ГИБРИДОВ ОСЕТРОВЫХ В СВЯЗИ С ИХ ТОВАРНЫМ ВЫРАЩИВАНИЕМ**

**Е.А. Федосеева, М.В. Лозовская, Л. М. Васильева**

ФГУП Научно-производственный центр по осетроводству «БИОС»

414000, Астрахань, ул. Володарского 14 «а»

E-mail: bios@astranet.ru

Проведены морфометрические исследования гибридов русского осетра со стерлядью (ОС) и русского осетра с шипом (ОШ), выращиваемых в пластиковых бассейнах при естественном температурном режиме. Установлен матроклиный характер наследования морфологических признаков у изученных гибридов. Выявлена возрастная динамика некоторых морфометрических показателей гибридов ОС, ОШ и их исходных видов. Определены морфометрические признаки, отличающие данные гибриды от родительских видов как в возрасте сеголетков, так и двухлеток.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В товарном рыбоводстве имеется устойчивый интерес к выращиванию осетровых в пресноводных условиях – в прудах и бассейнах. Проведенные исследования показали принципиальную возможность развития такого типа хозяйств. Но в пресной воде темп роста осетровых ниже, чем в солоноватой [10]. Задача получения и выращивания гибридов осетровых, которые по скорости роста приближались бы к проходным, но в отличие от них могли бы жить в пресной воде, является весьма актуальной. Хозяйственная ценность гибридов обусловлена особенностями проявления гетерозиса, прежде всего ускоренным ростом сеголетков [3, 7, 8]. Четкое знание морфологических особенностей гибридных форм осетровых необходимо не только для распознавания их в природных условиях, но и при искусственном разведении. Согласно литературным данным [2, 3], гибрид русского осетра со стерлядью нередко встречается в природных водоемах, но сведения о морфометрических особенностях гибридов ОС, ОШ весьма скудны. Известны работы, посвященные изучению морфометрических признаков бестера, гибрида ленского осетра со стерлядью [4, 1]. По мнению В.П. Михеева [6], морфологические особенности рыб зависят от способа их выращивания. Поэтому важным представляется изучение морфологии гибридов осетровых при бассейновом выращивании.

Целью настоящего исследования явилось определение диагностических морфометрических признаков гибридов русского осетра со

стерлядью и русского осетра с шипом в сравнении с родительскими видами при бассейновом разведении.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На производственно-экспериментальной базе ФГУП НПЦ «БИОС» в течение 2000-2001 гг. проведено опытное выращивание гибридов русского осетра в пластиковых бассейнах при естественном температурном режиме. Объектами исследований были сеголетки и двухлетки двух гибридов: русского осетра со стерлядью (ОС), русского осетра с шипом (ОШ) и их родительских видов. Выращивание рыб производилось в пластиковых бассейнах объемом 2 м<sup>3</sup> при расходе воды 30 л/мин. При повышенных температурах воды осуществляли оксигенацию. В ходе выращивания проводили сортировку рыб для уменьшения плотности посадки. Кормили осетровых кормом ОТ-6, в период повышенных значений температуры – пастообразным кормом. Морфометрические исследования проводили по общепринятой методике [5, 9] на живых рыбах. Учитывая, что у осетровых пластические и часть меристических признаков с ростом значительно изменяются, для исследования были отобраны близкие по размеру рыбы. Все промеры выполнены по левой стороне тела, подсчет боковых и брюшных жучек – слева и справа. Статистический анализ проводили в программе Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Краткая морфологическая характеристика русского осетра, шипа и стерляди.**

Русский осетр. Окраска от светлой до темно-серой, часто с желтоватым оттенком. Между рядами жучек тело покрыто крупными, разбросанными звездчатыми пластинками. Боковых жучек обычно меньше 50 (от 31 до 42). Все жучки покрыты резкими радиальными зернистыми полосками. Рыло короткое, туповатое. Рот поперечный, нижняя губа прервана. Жаберные перепонки приращены к межжаберному промежутку. Усики без бахромы, расположены ближе к концу рыла, не достигают хрящевого свода рта. Число тычинок на первой жаберной дуге менялось от 21 до 24.

Шип. Отличие шипа от других осетровых заключается, прежде всего, в том, что у него не прервана нижняя губа. Рыло туповатое, представляет собой правильный конус. Рот поперечный, маленький. Жаберные перепонки приращены к межжаберному промежутку. Усики бахромчатые. Окраска спины темно-серая, брюхо белое. Жучки на спине продолговатые, раздвинутые, с острыми шипами. Первая спинная жучка наибольшая. Тело между рядами жучек покрыто очень мел-

кими зернышками. Боковых жучек больше 50 (у двухлеток – от 50 до 54). Число тычинок на первой жаберной дуге 26–32.

Стерлядь. Окраска от темно-серой до темно-коричневой. Тело между рядами жучек покрыто очень мелкими зернышками. Боковых жучек больше 50 (57–67). Рыло вытянутое, заостренное или укороченное. Рот поперечный, маленький. Нижняя губа прервана. Жаберные перепонки приращены к межжаберному промежутку. Усики бахромчатые. На первой жаберной дуге 15–18 тычинок.

**Морфологические особенности гибрида русского осетра со стерлядью.**

Окраска тела от светло-серой до темно-серой, иногда с желтоватым оттенком. Тело между рядами жучек покрыто очень мелкими зернышками, пластинок нет. Рыло заостренное, загнутое вверх. Рот небольшой. Нижняя губа прервана. Усики уплощенные, без бахромы, не достигают рта. Жаберные перепонки приращены к межжаберному промежутку. Боковые жучки схожи со стерляжьими, но чуть крупнее.

В ходе сравнительного изучения гибрида ОС с родительскими видами установлен матроклинный характер наследования некоторых морфологических признаков гибрида. Это касалось показателей высот спинного и анального плавников, длин брюшного плавника, бокового усика и заглазничного отдела головы, ширины перерыва нижней губы. По таким пластическим признакам, как длина рыла, расстояние от конца рыла до хрящевого свода рта и до основания средней пары усиков, двухлетки гибрида ОС занимают промежуточное положение между осетром и стерлядью. Антевентральное расстояние у двухлеток гибрида больше, чем у осетра и стерляди и составляет 53.49% от общей длины тела (табл. 1).

Гибрид русского осетра со стерлядью занимает среднее положение между родительскими видами по числу боковых и брюшных жучек. По числу тычинок на первой жаберной дуге и числу лучей в анальном плавнике гибрид достоверно отличается только от стерляди.

**Таблица 1.** Морфометрические показатели гибрида ОС в сравнении с родительскими видами

Наименование признака	ОС	Осетр	Стерлядь
Пластические признаки в % от общей длины тела			
Длина головы, С	15.11±0.42	14.27±0.36	15.74±0.21
Антедорсальное расстояние, aD	63.06±1.15	60.95±0.94	59.37±0.18
Антевентральное расстояние, aV	53.49±0.64	51.14±0.73	50.77±0.55
Антеанальное расстояние, aA	68.79±1.08	65.93±0.34	65.11±0.59
Наибольшая высота тела, Н	11.81±0.30	12.37±0.66	10.73±0.25
Наименьшая высота тела, h	3.73±0.18	4.18±0.18	3.68±0.12
Длина хвостового стебля, pl <sub>1</sub>	9.78±0.25	10.62±0.40	10.28±0.50
Длина основания хвостового стебля, pl <sub>2</sub>	15.56±0.55	16.00±0.38	16.48±0.30
Длина основания спинного плавника, lD	10.18±0.13	9.55±0.53	10.48±0.27
Высота спинного плавника, hD	5.87±0.31	6.27±0.27	7.41±0.25
Длина основания анального плавника, lA	4.75±0.20	4.85±0.11	4.67±0.15
Высота анального плавника, hA	5.64±0.35*	5.80±0.23	6.96±0.14
Длина грудного плавника, lP	15.02±0.39	13.57±0.68	16.61±0.59
Длина брюшного плавника, lV	5.99 ±0.20*	5.92± 0.38	7.15±0.26
Пектоцентрально-анальное расстояние, PV	36.02±0.60*	28.03±6.18	33.26±0.56
Вентроанальное расстояние, VA	16.53±0.43	15.54±0.44	15.65±0.62
Наибольшая толщина тела, Sc	8.45±0.26	8.43±0.12	7.32±0.48
Наибольший обхват тела, cc	37.60±0.54*	37.82±1.49	33.16±0.59
Пластические признаки в % от длины головы			
Длина рыла, R	56.86±1.14*	51.54±0.94	61.66±1.51
Заглазничный отдел головы, op	58.51±1.37	62.77±2.55	55.17±1.95
Горизонтальный диаметр глаза, O	12.99±0.66*	12.00±0.54	10.33±0.41
Наибольшая высота головы (у затылка), hC	50.76±1.72	56.39±4.99	45.96±3.71
Наименьшая высота головы, hC <sub>0</sub>	30.95±1.02	40.64±7.35	27.60±1.10
Межглазничное расстояние (ширина лба), io	40.29±1.31*	44.29±1.42	35.13±0.92
Наибольшая ширина головы, BC	67.91±1.80*	73.55±2.77	59.62±1.20
Ширина головы по верхним краям жаберных крышек, bC	60.57±1.16	69.61±1.58	57.53±3.29



Наименование признака	ОС	Осетр	Стерлядь
Расстояние от конца рыла до основания средней пары усиков, $r_c$	$32.38 \pm 1.61$ *	$20.70 \pm 1.19$	$45.60 \pm 1.32$
Расстояние от конца рыла до хрящевого свода рта, $r_r$	$61.96 \pm 1.32$ *	$54.08 \pm 1.36$	$68.31 \pm 1.23$
Расстояние от основания средней пары усиков до хрящевого свода рта, $r_l$	$28.72 \pm 0.15$ *	$31.41 \pm 1.17$	$22.71 \pm 0.52$
Длина наибольшего (бокового) усика, $l_c$	$21.88 \pm 0.55$	$21.93 \pm 2.53$	$22.06 \pm 1.06$
Ширина рыла у основания средней пары усиков, $SR_c$	$31.30 \pm 0.56$	$33.87 \pm 1.30$	$30.24 \pm 0.97$
Ширина рыла у хрящевого свода рта, $SR_r$	$50.42 \pm 1.39$ *	$55.85 \pm 2.38$	$44.58 \pm 0.99$
Ширина рта, $SO$	$27.60 \pm 0.84$ *	$32.53 \pm 1.85$	$20.26 \pm 0.90$
Ширина перерыва нижней губы, $il$	$7.58 \pm 0.44$ *	$8.60 \pm 0.47$	$4.23 \pm 0.24$
Меристические признаки			
Число спинных жучек, $S_d$	$14.2 \pm 0.58$	$12.60 \pm 0.51$	$13.00 \pm 0.55$
Число боковых жучек слева, $Sl_1$	$46.4 \pm 1.63$ *	$34.80 \pm 1.46$	$62.40 \pm 1.89$
Число боковых жучек справа, $Sl_2$	$46.6 \pm 1.54$ **	$36.40 \pm 1.94$	$61.80 \pm 1.07$
Число брюшных жучек слева, $Sv_1$	$11.6 \pm 0.25$ *	$8.40 \pm 0.40$	$13.00 \pm 0.0$
Число брюшных жучек справа, $Sv_2$	$11.6 \pm 0.25$ *	$8.40 \pm 0.40$	$14.20 \pm 0.49$
Число лучей в спинном плавнике, $D$	$43.6 \pm 1.69$	$38.60 \pm 1.96$	$44.60 \pm 1.25$
Число лучей в анальном плавнике, $A$	$24.6 \pm 0.60$ *	$23.20 \pm 0.66$	$27.80 \pm 0.49$
Число тычинок на первой жаберной дуге, $Sp.br.$	$25.6 \pm 1.21$ *	$23.00 \pm 0.55$	$16.60 \pm 0.51$

**Примечание:** \* –  $p < 0,05$ , достоверное отличие показателей гибрида от показателя материнского вида; \* –  $p < 0,05$ , достоверное отличие показателей гибрида от показателя отцовского вида.

# **Морфологические особенности гибрида русского осетра с шипом.**

При изучении качественных признаков было установлено большое сходство гибрида ОШ с осетром. Окраска тела от светло-серой до желто-серой. Между рядами жучек тело обычно покрыто крупными, разбросанными звездчатыми пластинками. Спинные жучки покрыты радиальными зернистыми полосками. Рыло короткое, туповатое, рот небольшой поперечный, усики без бахромы, не достигают верхней губы. Нижняя губа прервана посередине. Отличить гибрид от осетра можно по величине первой спинной жучки (у ОШ она наибольшая) и по внешнему виду боковых жучек, которые по форме и размеру похожи на жучки шипа, но имеют большую исчерченность.

При исследовании пластических признаков было отмечено сходство показателей ширины рта, ширины рыла у основания средней пары усиков и хрящевого свода рта, ширины головы, лба гибрида с таковыми у осетра. Схожими у ОШ и осетра оказались показатели длины головы, длины брюшного и грудного плавников. Гибрид ОШ от осетра и шипа достоверно отличается расстоянием от конца рыла до основания средней пары усиков, поскольку положение усиков гибрида ОШ – промежуточное между осетром и шипом.

Среди меристических признаков, отличающих ОШ от родительских видов, – число спинных и боковых жучек. У двухлеток ОШ число боковых жучек варьировало от 42 до 50, у осетра – от 31 до 42, у шипа – от 50 до 54. По остальным меристическим признакам гибрид отличался только от материнского вида (табл. 2).

**Таблица 2.** Морфометрические показатели гибрида ОШ в сравнении с родительскими видами

Наименование признака	ОШ	Осетр	Шип
Пластические признаки в % от общей длины тела			
Длина головы, С	14.80±0.24*	14.27±0.36	16.24±0.23
Антедорсальное расстояние, aD	62.07±0.62	60.95±0.94	60.95±0.92
Антевентральное расстояние, aV	53.41±0.72	51.14±0.73	53.59±0.51
Антеанальное расстояние, aA	67.83±0.81	65.93±0.34	67.27±0.83
Наибольшая высота тела, Н	12.38±0.26	12.37±0.66	12.72±0.36
Наименьшая высота тела, h	3.95±0.15	4.18±0.18	3.98±0.16
Длина хвостового стебля, pl <sub>1</sub>	10.79±0.77	10.62 ±0.40	9.74±0.28
Длина основания хвостового стебля, pl <sub>2</sub>	15.77±0.25	16.00±0.38	15.42±0.35

Наименование признака	ОШ	Осстр	Шип
Длина основания спинного плавника, ID	10.30±0.16	9.55±0.53	9.42±0.75
Высота спинного плавника, hD	6.20±0.70	6.27±0.27	7.87±0.54
Длина основания анального плавника, IA	4.77±0.13	4.85±0.11	4.75±0.19
Высота анального плавника, hA	6.58±0.51	5.8±0.23	7.72±0.30
Длина грудного плавника, IP	14.02±0.57*	13.57±0.68	19.31±0.44
Длина брюшного плавника, IV	6.08±0.24*	5.92±0.38	7.29±0.09
Пектоцентрально-анальное расстояние, PV	37.47±0.57	28.03±6.18	35.17±0.42
Вентроанальное расстояние, VA	14.89±0.42	15.54±0.44	15.30±0.27
Наибольшая толщина тела, Sc	9.35±0.62	8.43±0.12	8.45±0.39
Наибольший обхват тела, сс	37.26±0.54	37.82±1.49	38.47±0.46
Пластические признаки в % от длины головы			
Длина рыла, R	57.28±3.60	51.54±0.94	59.45±0.70
Заглазничный отдел головы, ор	59.22±1.10	62.77±2.55	57.95±0.64
Горизонтальный диаметр глаза, О	10.88±0.51	12.00±0.54	10.03±0.48
Наибольшая высота головы (у затылка), НС	65.63±2.90*	56.39±4.99	52.92±1.08
Наименьшая высота головы, hC <sub>0</sub>	33.97±1.12*	40.64±7.35	27.82±1.82
Межглазничное расстояние (ширина лба), io	42.58±2.04	44.29±1.42	38.18±1.06
Наибольшая ширина головы, ВС	77.02±3.40	73.55±2.77	67.30±2.37
Ширина головы по верхним краям жаберных крышек, bC	69.65±4.17	69.61±1.58	64.93±2.13
Расстояние от конца рыла до основания средней пары усиков, r <sub>c</sub>	30.82±2.60 *	20.70±1.19	44.62±1.30
Расстояние от конца рыла до хрящевого свода рта, гг	59.37±2.61*	54.08±1.36	66.90±0.85
Расстояние от основания средней пары усиков до хрящевого свода рта, гl	28.55±0.83 **	34.41±1.17	22.90±0.47
Длина наибольшего (бокового) усика, lc	22.85±1.27	21.93±2.53	20.61±0.41
Ширина рыла у основания средней пары усиков, SR <sub>c</sub>	33.25±0.59*	33.87±1.30	40.22±1.15
Ширина рыла у хрящевого свода рта, SR <sub>r</sub>	51.20±0.88	55.85±2.38	47.64±1.58

Наименование признака	ОШ	Осстр	Шип
Ширина рта, SO	31.63±1.58*	32.53±1.85	22.10±0.77
Ширина перерыва нижней губы, il	7.27±0.64	8.60±0.47	Нет
Меристические признаки			
Число спинных жучек, Sd	14.60±0.25*	12.60±0.51	12.60±0.51
Число боковых жучек слева, Sl <sub>1</sub>	47.20±1.86*	34.80±1.46	51.00±0.55
Число боковых жучек справа, Sl <sub>2</sub>	46.80±1.39*	36.40±1.94	52.00±0.84
Число брюшных жучек слева, Sv <sub>1</sub>	11.00±0.45*	8.40±0.40	12.40±0.25
Число брюшных жучек справа, Sv <sub>2</sub>	11.20±0.58*	8.40±0.40	12.00±0.77
Число лучей в спинном плавнике, D	46.00±0.95*	38.60±1.96	48.80±1.56
Число лучей в анальном плавнике, A	25.80±0.86*	23.20±0.66	27.20±1.16
Число тычинок на первой жаберной дуге, Sp.br.	27.40±0.25*	23.00±0.55	27.80±1.11

Примечание: –  $p < 0.05$ , достоверное отличие показателей гибрида от показателя материнского вида; \* –  $p < 0.05$ , достоверное отличие показателей гибрида от показателя отцовского вида.

### Возрастная динамика морфометрических признаков гибридов ОС и ОШ.

Обнаружено, что на втором году жизни у всех групп осетровых, выращиваемых в бассейнах, уменьшается относительная длина головы. Одновременно с этим происходит увеличение длины рыла, заглазничного отдела головы, наибольшей высоты головы, что позволяет связать уменьшение относительной длины головы с увеличением относительной длины тела (табл. 3, 4). Выявлен пластический признак, отличающий гибриды ОС и ОШ от исходных видов как в первый, так и во второй год выращивания. Это – расстояние от конца рыла до основания средней пары усов.

Отмечено, что у осетровых, выращиваемых в бассейнах, на втором году жизни улучшаются полезные в хозяйственном отношении характеристики. Так значения относительной массы тела без внутренностей (порки) двухлеток всех исследованных видов и гибридов были близки и варьировали от 88.2 до 90.5% от общей массы тела.

**Таблица 3.** Возрастные изменения морфометрических признаков гибрида ОС в сравнении с родительскими видами

Признак	ОС		Осетр		Стерлядь	
	Сего- летки	Двух- лет- ки	Сеголет- ки	Двух- летки	Сеголеки	Двухлет- ки
Длина головы (% от общей длины тела), С	20.43± 1.12	15.11 ± 0.42*	20.31 ± 1.32	14.27 ± 0.36	24.01 ± 1.03	15.74 ± 0.21
Длина рыла (% от общей длины тела), R	44.91 ± 1.56	56.86 ± 1.14*	42.20± 2.43	51.54 ± 0.94	49.39 ± 2.75	61.66 ± 1.51
Заглазничный отдел головы (% от общей длины тела), ор	46.09 ± 2.95	58.51 ± 1.37*	47.02 ± 3.62	62.77 ± 2.55	41.03 ± 2.56	55.17 ± 1.95
Наибольшая высота головы у затылка (% от общей длины те- ла), НС	36.37 ± 8.53	50.76 ± 1.72	46.19 ± 3.56	56.39 ± 4.99	37.12 ± 1.94	45.96 ± 3.71
Общая длина тела (см), L	37.48 ± 0.78	47.16 ± 1.72*	28.73 ± 6.17	49.16 ± 2.11	21.41 ± 0.62	41.94 ± 1.18

Примечание:  $x - p < 0.05$ , достоверное отличие показателей гибрида от показателя материнского вида;  $x - p < 0.05$ , достоверное отличие показателей гибрида от показателя отцовского вида.

**Таблица 4.** Возрастные изменения морфометрических признаков гибрида ОШ в сравнении с родительскими видами

Признак	ОШ		Осетр		Шип	
	Сего- летки	Двух- летки	Сеголет- ки	Двухлет- ки	Сеголе- тки	Двух- летки
Длина головы (% от общей длины тела), С	19.78 ± 1.34	14.83 ± 0.24*	20.29 ± 1.32	14.27 ± 0.36	23.71 ± 0.54	16.24 ± 0.23
Длина рыла (% от общей длины тела), R	48.20 ± 1.45	57.28 ± 3.60*	42.20 ± 2.43	51.54 ± 0.94	47.11 ± 2.25	59.45 ± 0.71
Заглазничный отдел головы (% от общей длины тела), ор	47.50 ± 1.24	59.22 ± 1.10*	47.00 ± 3.62	62.77 ± 2.55	47.82 ± 2.13	57.95 ± 0.64
Наибольшая высота головы у затылка (% от общей длины те- ла), НС	46.12 ± 2.81	65.63 ± 2.89*	46.21 ± 3.56	56.39 ± 4.99	42.56 ± 5.63	52.92 ± 1.08
Общая длина тела (см), L	34.89 ± 0.37	52.06 ± 1.08*	28.74 ± 6.17	49.16 ± 2.11	16.60 ± 0.66	43.10 ± 1.41

Примечание:  $* - p < 0.05$ , достоверное отличие показателей гибрида от показателя материнского вида;  $* - p < 0.05$ , достоверное отличие показателей гибрида от показателя отцовского вида.

## ВЫВОДЫ

Определены морфометрические признаки, по которым можно отличить гибриды русского осетра со стерлядью и русского осетра с шипом от родительских видов как в возрасте сеголеток, так и двухлеток. Выявлена возрастная динамика некоторых морфометрических показателей изучаемых гибридов и их исходных видов. Необходимо дальнейшее изучение возрастных изменений морфометрических показателей гибридов в условиях интенсивного выращивания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баранов А.А.* Морфо-экологические особенности гибридов ленского осетра со стерлядью // Ресурсосберегающие технологии в аквакультуре. / Второй международный симпозиум. Материалы документов. Краснодар, 1999. С. 13–14.
2. *Дюжигов А.Т.* О естественной гибридизации осетровых рыб на Волге // Доклады АН СССР, 1959. т. 129. № 1. С. 194–197.
3. *Константинов К.Г., Николюкин Н.И., Тимофеева Н.А.* К биологии гибридов осетровых рыб // ДАН СССР. 1952. Т. 86. В. 2. С. 417–420.
4. *Крылова В.Д.* Ранний онтогенез и морфология бестера второго поколения и возвратных форм как объектов разведения и селекции. Автореферат... канд. биол. наук. М., 1985. 23 с.
5. *Крылова В.Д., Соколов Л.И.* Морфологические исследования осетровых рыб и их гибридов // Методические рекомендации. М., 1981. 35 с.
6. *Михеев В.П.* Садковое выращивание товарной рыбы. М., 1982. 230 с.
7. *Николюкин Н.И.* Отдаленная гибридизация рыб и ее практическое значение // Научные проблемы искусственного разведения проходных и полупроходных рыб и развития товарного рыбоводства: Труды совещания по рыбоводству. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 71–80.
8. *Николюкин Н.И.* Состояние и задачи исследований по гибридизации осетровых рыб // Труды Саратовского отделения ГосНИОРХ. 1960. Т. 6. С. 116–123.
9. *Правдин И.Ф.* Руководство по изучению рыб. М.: Пищепромиздат, 1966. С. 219–221.
10. *Строганов Н.С.* Эколого-физиологические исследования по выращиванию осетровых рыб в прудах московской области // Научные проблемы искусственного разведения проходных и полупроходных рыб и развития товарного рыбоводства: Труды совещания по рыбоводству. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 386–398.

## **ВЫСШИЕ РАКООБРАЗНЫЕ КУЧУРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ МОЛДАВСКОЙ ГРЭС**

**С.И. Филипенко**

Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко

Молдова, г. Тирасполь, ул. 25 октября, 128

e-mail: philipenko@tirastel.md

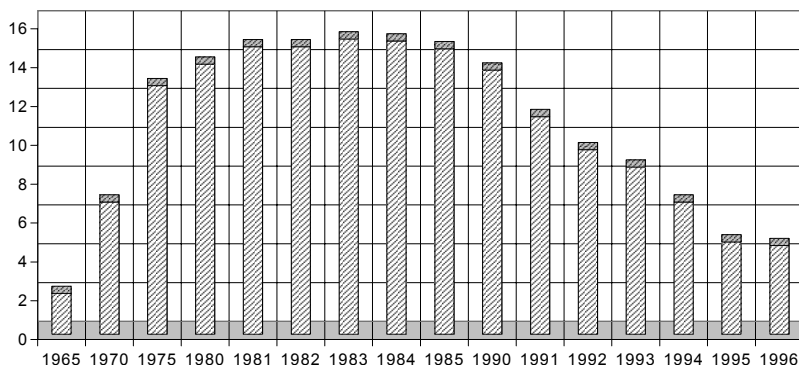
В работе дается характеристика популяций высших ракообразных Кучурганского водохранилища-охладителя при различных уровнях антропогенной нагрузки со стороны Молдавской ГРЭС, их распределение по акватории и на протяжении вегетационного периода. На современном этапе фауна высших ракообразных водохранилища представлена 8 видами амфипод (Amphipoda), 4 кумацей (Cumacea), 3 мизид (Mysidacea), по 2 декапод (Decapoda) и изопод (Isopoda). Наиболее многочисленны амфиподы, на их долю приходится 84% численности и 95,8% биомассы всех ракообразных донной фауны водохранилища. Отмечено, что плотность популяций и продукция высших ракообразных находятся в прямой зависимости от термического режима водоема. В условиях Кучурганского водохранилища наиболее оптимальным для гидробионтов является режим работы Молдавской ГРЭС с объемом вырабатываемой электроэнергии до 10–11 млрд. кВт/ч.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Кучурганское водохранилище расположено на юго-востоке Республики Молдова, на границе с Украиной. Акватория водоема занимает около 2730 га со средней глубиной 3.5 и максимальной – 5.0 м, объем воды – 88 млн. м<sup>3</sup>.

С 1964 г. водохранилище, считавшееся до зарегулирования лиманом, является водоемом-охладителем Молдавской ГРЭС с проектной мощностью 2.5 млн. кВт/ч. В различные периоды своего становления в качестве водоема-охладителя водохранилище подвергалось различным уровням антропогенной нагрузки со стороны МГРЭС, которая находилась в прямой зависимости от объемов вырабатываемой электроэнергии станцией электроэнергетики (рис. 1).

Изменение уровня антропогенной нагрузки отразилось на развитии донной фауны водохранилища, в том числе популяций высших ракообразных.



**Рис. 1.** Динамика выработки по годам электроэнергии (млрд. кВт/ч) на Молдавской ГРЭС.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами для настоящей работы послужили пробы макрозообентоса, собранные в Кучурганском водохранилище в 1997, 1999 и 2000 гг. Пробы отбирали на 3-х створах (участках) водохранилища: верхний, средний, нижний, и на 3-х станциях каждого участка: правый берег, середина, левый берег.

Для выявления тенденции изменения качественного состава и количественного развития популяций высших ракообразных в различные периоды становления гидробиологического режима водохранилища-охладителя среднесезонные показатели за 1997–2000 гг. сопоставляли с материалами бентосных съемок за 1964–1965, 1966–1970 гг. [9] и с материалами лаборатории гидробиологии Института зоологии АН РМ за 1976–1977, 1981–1984 и 1990–1994 гг.

Сбор и обработку проб проводили по общепринятым методикам (Жадин, 1960; Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов, 1975; Руководство по гидробиологическому мониторингу..., 1992; Салазкин, 1983) ковшовым дночерпателем типа Петерсена с площадью захвата 0.025 м<sup>2</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

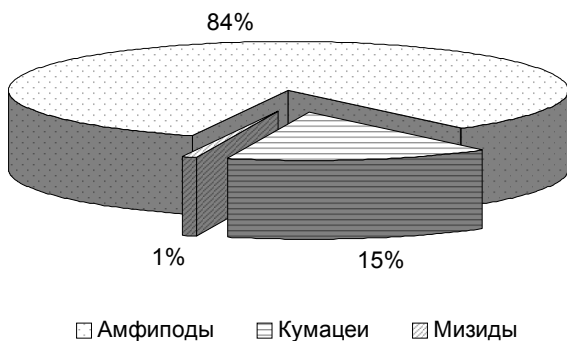
Донная фауна высших ракообразных Кучурганского водохранилища довольно разнообразна, во многом благодаря широкому распространению видов Понто-каспийского фаунистического комплекса. Высшие ракообразные представлены в основном отрядами *Amphipoda*,



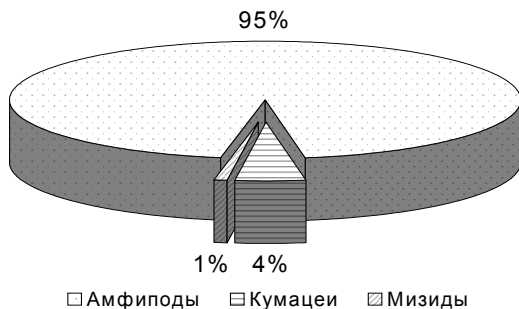
*Cumacea* и *Mysidacea*. Реже встречаются представители отряда *Isopoda*.

Амфиподы. В Кучурганском водохранилище амфиподы самая многочисленная группа донных ракообразных. Из 32 видов амфипод, обнаруженных в водоемах Молдовы, в Кучурганском водохранилище в разные периоды становления водоема обитало 15 понто-каспийских видов и один амфибионт [5]. В 1997–2000 гг. нами отмечено 8 видов. В массовом количестве распространены представители семейств: *Gammaridae* и *Corophiidae*. Из гаммарид обычны *Dikerogammarus haemobaphes*, *D. villosus*, *Pontogammarus robustoides*, *P. crassus*, из корофиид – *Corophium maeoticum*.

В 1997–2000 гг. от общего объема высших ракообразных Кучурганского водохранилища ( $579 \text{ экз./м}^2$ ,  $2.65 \text{ г/м}^2$ ) на долю амфипод приходилось 84% по численности и 95.8% по биомассе (рис. 2, 3). Плотность амфипод определяется в основном корофидами, а биомасса – гаммаридами.



**Рис. 2.** Качественный состав высших ракообразных Кучурганского водохранилища в 1997–2000 гг.



**Рис. 3.** Биомасса высших ракообразных Кучурганского водохранилища в 1997–2000 гг.

Пик численности амфипод отмечен на уровне 7320 экз./м<sup>2</sup> (июль 2000 г.), а биомассы – 150.96 г/м<sup>2</sup> (июль 1997). Максимальная плотность гаммарид, а именно *Dikerogammarus haemobaphes* зафиксирована в местах, где в большом количестве развивается и *Dreissena polymorpha*. Данный факт подтверждает мнение, что в Кучурганском водохранилище между этими видами существует биотическое взаимоотношение типа комменсализма, где в качестве коменсала выступает бокоплав [3].

Относительно высокая плотность амфипод в водохранилище свидетельствует о благоприятных условиях для их развития. Амфиподы, по нашему мнению, наиболее эвритермная группа зообентоса водохранилища. Это подтверждают результаты бентосных съемок 1997 г. с акватории водоема и канала теплых сбросных вод Молдавской ГРЭС, где среднесезонная температура воды на 5.3°C выше, чем в водохранилище. Если среднесезонные показатели численности и биомассы амфипод в водохранилище составили 761 экз./м<sup>2</sup> и 5.94 г/м<sup>2</sup>, то за аналогичный период в канале теплых сбросных вод они возросли до 1840 экз./м<sup>2</sup> и 9.55 г/м<sup>2</sup> [7].

Кумовые ракообразные. Кучурганское водохранилище среди всех водоемов Молдовы наиболее богато кумовыми ракообразными. Фауну кумацей водохранилища представляют 6 видов [4], из которых в 1997–2000 гг. обнаружены лишь 4: *Caspicocuma campylaspoides*, *Schizorhynchus scabriusculus*, *Pseudocuma cercaroides* и *Pterocuma pectinata*. Среди них наиболее распространены последние два вида.

Доля кумовых от общего объема высших ракообразных Кучурганского водохранилища составляет 15% по численности и 4.5% по биомассе (рис. 2, 3). Хотя кумацей в водохранилище в общем достаточно мало-численны, тем не менее, местами их плотность достигает довольно больших величин. Максимальные показатели численности и биомассы кумовых ракообразных за период 1997–2000 гг. наблюдались в апреле 1999 г. – 2080 экз./м<sup>2</sup> и 3.05 г/м<sup>2</sup>.

Мизиды. Мизиды – наиболее бедный в видовом отношении отряд высших ракообразных Кучурганского водохранилища. В гидрофауне Молдовы известны 8 видов мизид, в Кучурганском водохранилище обитают лишь три: *Limnomysis benedeni*, *Paramysis lacustris* и *Katamysis warpachowskyi* [1, 6], последний вид встречается реже других. Из всех высших ракообразных донной фауны водохранилища мизиды самые малочисленные, их максимальная плотность достигала 120 экз./м<sup>2</sup> (июль 1997 г.). Основная масса мизид обитает среди зарослей макрофитов в прибрежной зоне водохранилища. По численности мизиды составляют 0.86%, по биомассе 0.75% общей численности и биомассы высших ракообразных (рис. 2, 3).

Декаподы и изоподы. Среди десятиногих раков в водохранилище обычен *Astacus leptodactylus*, сеголетки которого нередко встречаются в дночерпательных пробах. В 1986 г. в Кучурганское водохранилище-охладитель из водохранилища-охладителя Березовской ГРЭС была интродуцирована восточная речная креветка *Macrobrachium nipponense* [2], которая дала положительный эффект акклиматизации. В 1997–2000 гг. вид в пробах не отмечен, что связано с обитанием этого гидробионта преимущественно в прибрежной зоне среди макрофитов. Из равноногих ракообразных в водохранилище найдены два вида: *Asellus aquaticus* и *Jaera sarsi*, которые также предпочитают прибрежные макрофиты.

Группа высших ракообразных Кучурганского водохранилища неравномерно развивается на протяжении вегетационного периода. Их численность составляет весной 614 экз./м<sup>2</sup>, к лету возрастает до 898 экз./м<sup>2</sup>, осенью снижается до 225 экз./м<sup>2</sup> (табл. 1). Такие тенденции сезонного изменения плотности характерны для амфипод и мизид; у кумовых ракообразных, наоборот, максимальные показатели численности (214 экз./м<sup>2</sup>) наблюдаются весной, летом она снижается до 24 экз./м<sup>2</sup> и примерно на этом же уровне сохраняется осенью.

**Таблица 1.** Сезонная динамика численности и биомассы высших ракообразных Кучурганского водохранилища в 1997–2000 гг. (\* – численность, экз/м<sup>2</sup>; \*\* – биомасса, г/м<sup>2</sup>)

Створ водохранилища	Весна	Лето	Осень	среднее за вегетационный период
Верхний	657* 0.75**	332 0.86	4 0.01	331 0.54
Средний	295 0.46	2481 19.03	200 0.30	992 6.59
Нижний	785 2.33	203 0.31	335 1.02	441 1.22
В среднем по водохранилищу	614 1.45	898 5.91	225 0.59	579 2.65

По акватории водохранилища высшие ракообразные распределены неравномерно. Меньше их на верхнем участке – 331 экз./м<sup>2</sup> (биомасса 0.54 г/м<sup>2</sup>) и на нижнем 441 экз./м<sup>2</sup> (биомасса 1.22 г/м<sup>2</sup>). Наибольшего развития макрозообентические ракообразные достигают на среднем участке, где их плотность составляет 992 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса – 6.59 г/м<sup>2</sup> (табл.1).

В условиях Кучурганского водохранилища-охладителя фактором, в наибольшей степени детерминирующим состояние популяций высших ракообразных, является температура.

Исследования влияния термического режима водоема-охладителя на жизненные циклы высших ракообразных. показали, что на участках водохранилища (сбросной канал и зона сброса теплых вод из канала в водоем), где температура воды на протяжении всего года не опускается ниже 15–12°C, амфиподы, мизиды и кумацеи размножаются непрерывно, независимо от сезона года, т. е. ациклично, в то время как на участке с естественным термическим режимом – циклично (март–октябрь).

Среди донных гидробионтов Кучурганского водохранилища амфиподы являются наиболее эвритермной группой макрозообентоса, о чем свидетельствуют данные среднесезонной численности и биомассы зообентоса Кучурганского водохранилища и канала теплых сбросных вод Молдавской ГРЭС [7], представленные в табл. 2.

**Таблица 2.** Среднесезонные численность (Ч, экз./м<sup>2</sup>) и биомасса (Б, г/м<sup>2</sup>) основных групп макрозообентоса Кучурганского водохранилища и теплого канала сбросных вод МГРЭС в 1997 г.

Группы зообентоса	Кучурганское водохранилище		Теплый канал	
	Ч	Б	Ч	Б
Олигохеты	3196	5.44	1427	2.54
Полихеты	178	0.90	-----	-----
Хирономиды	2262	1.79	953	1.40
Амфиподы	761	5.94	1840	9.55
Другие группы	64	0.05	380	0.87
Моллюски	4056	785.29	181	25.38
Мягкий бентос	6626	14.26	4600	14.36
Общий бентос	10682	799.55	4781	39.74

Амфиподы оказались единственной группой донной фауны, у которой в условиях повышенных температур в сбросном канале МГРЭС численность (38.5% от всего зообентоса) и биомасса (66.5% от мягкого зообентоса) выше, чем в водохранилище. При этом максимальная плотность бокоплавов наблюдалась весной – 4980 экз./м<sup>2</sup> [7].

Изучение динамики численности амфипод на разных участках водохранилища в разные периоды термического режима дало возможность прийти к выводу, что плотность их популяций находится в прямой зависимости от термического режима водоема, от которого зависят и особенности размножения вида.

Увеличение количества яиц в марсупиумах самок амфипод на подогреваемом участке и в сбросном канале, превращение цикличного типа размножения в ациклический, сокращение сроков инкубирования яиц и времени между двумя последовательными спариваниями приводят, в конечном счете, к увеличению численности и биомассы особей в популяциях. Увеличение количества пометов (на 2–3) и отрожденной молоди в помете приводит к повышению продукции вида.

Биологические особенности высших ракообразных, их отношение к факторам среды, главным образом температуре, определили возможность использования этих гидробионтов при оценке уровня термофикации водоема-охладителя.

Анализ структуры популяций высших ракообразных водохранилища при разном уровне термофикации показал следующее.

На первых этапах становления водохранилища-охладителя (1964–1965 гг.), когда биота водоема не испытывала на себе изменение

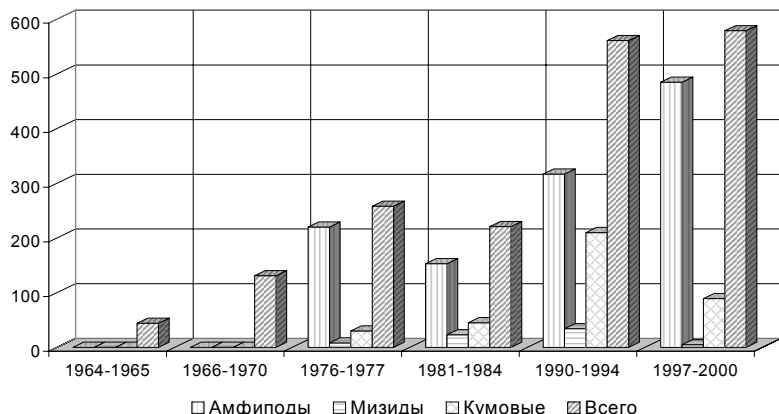
термофикации, высшие ракообразные характеризовались невысокой плотностью популяций (табл. 3, рис. 4). Постепенное наращивание мощности МГРЭС и следующее за ним усиление термофикации водохранилища стимулировали рост численности высших ракообразных до периода максимальной термической нагрузки (1981–1984 гг.). При этом не все высшие ракообразные одинаково отреагировали на изменения в водоеме-охладителе (табл. 3). В условиях максимальной термофикации водохранилища численность амфипод, определяющих плотность и биомассу высших ракообразных снизилась, а мизид и кумацей несколько увеличилась.

Снижение уровня термофикации водохранилища в 1990–1994 гг. детерминировало рост численности и биомассы всех без исключения групп высших ракообразных Понто-каспийского фаунистического комплекса (табл. 3, рис. 4). Этот факт указывает на то, что температурный режим в этот период (среднегодовая температура воды 15.3°C) оказался наиболее благоприятным для развития популяций высших ракообразных. Остальные группы зообентоса, за исключением моллюсков, в указанный промежуток времени также находились на пике своего развития.

При дальнейшем снижении уровня термофикации водохранилища (1997–2000 гг.) высшие ракообразные в целом сохранили тенденцию роста численности своих популяций, плотность и биомасса амфипод возросла, а мизид и кумацей несколько снизились (табл. 3, рис. 4).

**Таблица 3.** Численность (Ч, экз/м<sup>2</sup>) и биомасса (Б, г/м<sup>2</sup>) высших ракообразных Кучурганского водохранилища в разные периоды термической нагрузки

Период	Амфиподы		Мизиды		Кумацей		Всего	
	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б	Ч	Б
1964–1965	---	---	---	---	---	---	44	0.71
1966–1970	---	---	---	---	---	---	131	0.73
1976–1977	220	0.31	8	0.03	30	0.03	258	0.37
1981–1984	153	0.56	23	0.06	45	0.04	221	0.66
1990–1994	317	0.74	34	0.06	210	0.17	561	0.97
1997–2000	485	2.55	5	0.02	89	0.12	579	2.69



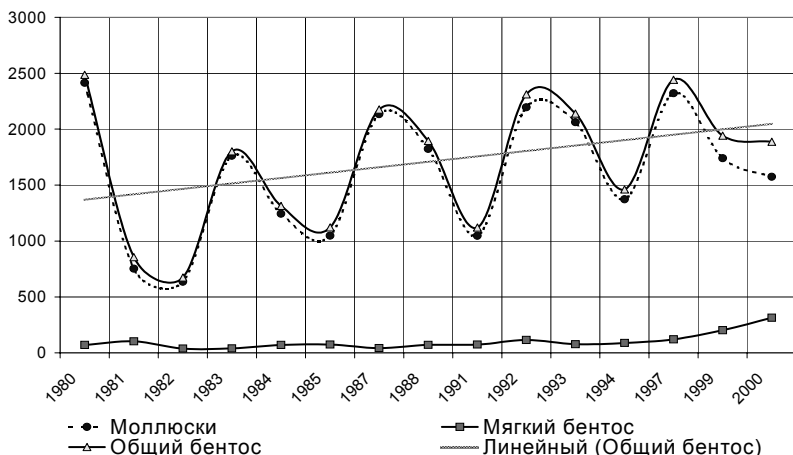
**Рис. 4.** Динамика численности высших ракообразных Кучурганского водохранилища при различных уровнях термофикации водоема

Необходимо отметить, что в 1997–2000 гг. объемы вырабатываемой Молдавской ГРЭС электроэнергии оказались примерно на уровне начала 1970-х годов (рис. 1). При этом численность и биомасса всего зообентоса возросли в 2.5–3 раза, а высших ракообразных – в 4.4 раза по численности и в 8 раз по биомассе. Высокие плотность и биомасса высших ракообразных в 1997–2000 гг. объясняются, по нашему мнению, во первых, тем, что предыдущий период функционирования водохранилища (1990–1994 гг.) характеризовался также высокими показателями численности и биомассы высших ракообразных, которые и детерминировали их высокий уровень в последующие годы, и, во вторых, тем, что высшие ракообразные являются эвритермными гидробионтами с высокой адаптационной способностью к резким изменениям термического режима водоема.

Состояние водных экосистем во многом определяется характером развития гидробионтов, в том числе и макрозообентоса. Наряду с качественным составом и количественными характеристиками (численностью и биомассой), важной определяющей является продукция.

Выявление продукционных возможностей донных гидробионтов в Кучурганском водохранилище-охладителе в условиях нестабильного режима работы Молдавской ГРЭС дает возможность оценить экологическое состояние данного водоема.

Результаты расчетов (рис. 5), показывают, что продуктивность зообентоса Кучурганского водохранилища находится в прямой зависимости от уровня антропогенной нагрузки на экосистему водоема-охладителя. При существующей закономерно осциллирующей динамике продукции бентоса на протяжении всего периода исследований, наблюдается рост продукции всех групп зообентоса, выраженный линией тренда в направлении снижения объемов вырабатываемой Молдавской ГРЭС электроэнергии.



**Рис. 5.** Динамика продукции ( $\text{г/м}^2$ ) зообентоса Кучурганского водохранилища при различном уровне антропогенной нагрузки (1980–2000 гг.)

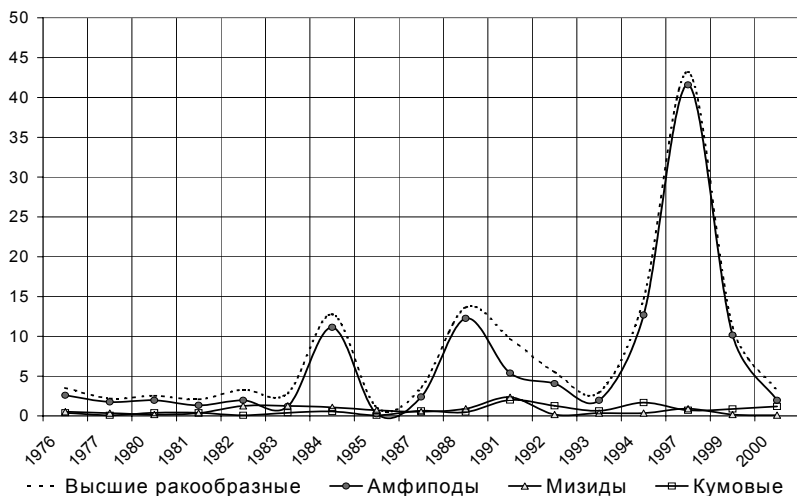
Для высших ракообразных водохранилища характерны аналогичные тенденции. В период максимальной термической нагрузки (1981–1984 гг.) продукция высших ракообразных в среднем составила  $5.25 \text{ г/м}^2$ , при снижении уровня термофикации (1991–1994 гг.) она возросла до  $8.23 \text{ г/м}^2$ . На современном этапе сниженной термофикации (1997–2000 гг.) тенденции роста продукции сохранились и она достигла максимального уровня за весь период функционирования водоема-охладителя –  $19.19 \text{ г/м}^2$ .

Продукция высших ракообразных на протяжении последних лет (1994–2000 гг.) резко увеличилась (рис. 6). Этому способствовал рост продукционных показателей амфипод, последовавший на этапе снижения уровня антропогенной нагрузки в конце 1980-х годов. Мак-



симальный пик продукции ( $41.58 \text{ г/м}^2$ ) наблюдался в 1997 г., после чего последовал резкий спад.

Росту продукционных показателей зообентоса на современном этапе, кроме снижения уровня термофикации водоема, могло способствовать и увеличение численности и продукции популяции дрейссены в водохранилище. Такое явление отмечено Щербиной Г.Х. [8], который установил, что увеличение плотности дрейссены приводит к возрастанию продуктивности макрозообентоса, изменению его трофической и видовой структуры.



**Рис. 6.** Динамика продукции ( $\text{г/м}^2$ ) высших ракообразных Кучурганского водохранилища при различном уровне антропогенной нагрузки (1976–2000 гг.)

Таким образом, величина продукции высших ракообразных Кучурганского водохранилища находится в прямой зависимости от уровня антропогенного воздействия на экосистему водоема-охладителя.

По мнению автора в дальнейшем, в условиях сниженной термофикации Кучурганского водохранилища численность и биомасса высших ракообразных несколько сократятся. Если Молдавская ГРЭС, как планируется, увеличит объемы вырабатываемой электроэнергии, плотность популяций высших ракообразных возрастет. Предполагаемые тенденции сохранятся в случае роста объемов вырабатываемой Молдавской ГРЭС электроэнергии до уровня 10–11 млрд. квт/ч.

Таким образом, анализ состояния популяций высших ракооб-

разных, позволил сделать вывод, что в условиях Кучурганского водохранилища наиболее оптимальным режимом работы Молдавской ГРЭС, при котором биота водоема-охладителя, в данном случае макрозообентос, находятся в благоприятных для своего развития экологических условиях, является режим работы с объемом вырабатываемой электроэнергии до 10–11 млрд. квт/ч.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимиров М.З.* Отряд Мизиды // Мшанки, моллюски, членистоногие (Из серии «Животный мир Молдавии»). Кишинев: Штиинца, 1984. С. 143–152.
2. *Владимиров М.З., Тодераш И.К., Чорик Ф.П.* Теплолюбивая пресноводная креветка – перспективный объект конструирования гидробиоценозов водохранилищ-охладителей тепловых электростанций // Фауна антропогенного ландшафта Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1989. С. 121–122.
3. *Дедю И.И.* Амфиподы пресных и солоноватых вод юго-запада СССР. Кишинев: Штиинца, 1980. 224 с.
4. *Дедю И.И.* Отряд Кумовые ракообразные // Мшанки, моллюски, членистоногие (Из серии «Животный мир Молдавии»). Кишинев: Штиинца, 1984. С. 152–158.
5. *Дедю И.И.* Отряд Разноногие ракообразные, или бокоплавы // Мшанки, моллюски, членистоногие (Из серии «Животный мир Молдавии»). Кишинев: Штиинца, 1984. С. 161–184.
6. *Степанова Г.М.* Аминокислотный состав мизид и амфипод, акклиматизируемых в условиях Молдавии // Биологические процессы в морских и континентальных водоемах. Тезисы докладов II съезда ВГБО. Кишинев, 1970. С. 353–354.
7. *Филипенко С.И.* Современное состояние донной фауны Кучурганского водохранилища в условиях изменения режима работы Молдавской ГРЭС // Conservarea biodiversității bazinului Nistrului. Materialele Conferinței Internationale. Chișinău, 7–9 octombrie 1999. – Chișinău: Societatea Ecologică «BIOTICA», 1999. С. 240–243.
8. *Щербина Г.Х.* Структура и роль хирономид в составе макрозообентоса экспериментальных мезокосм при различных плотностях дрейссены и молоди рыб // Экология, эволюция и систематика хирономид. Тольятти – Борок, 1996. С.166–178.
9. *Ярошенко М.Ф.* Донная фауна лимана-охладителя // Кучурганский лиман-охладитель Молдавской ГРЭС. Кишинев: Штиинца, 1973. С. 101–115.

**CRAYFISH CREATURES OF KUCHURGAN WATER STORAGE  
BASIN-COOLER IN CONDITIONS OF UNSTABLE  
OPERATIONAL MODE BELONGING TO THE  
MOLDAVIAN STATE DISTRICT  
POWER STATION**

**S.I. Philipenko**

Dniester state university named after T.G. Shevchenko,  
128, 25 October st., Tiraspol, Moldova  
37 Larionov st., flat 45, Tiraspol, Moldova, 3300  
e-mail: philipenko@tirastel.md

This article gives the characteristic of benthic crayfish populations of Kuchurgan water storage basin-cooler at different levels of an anthropogenic load on the part of the Moldavian state district power station, their distribution on a water area and during a growing season. At the present stage the fauna of the crayfish of water storage basin is submitted by 8 kinds of *Amphipoda*, 4 *Cumacea*, 3 *Mysidacea*, on 2 *Decapoda* and *Isopoda*. Most numerous are *Amphipoda*, which is 84% of the quantity and 95.8% on a biomass from all crayfish of a base fauna of water storage basin. It is marked, that the density of populations and production maximum of these creature are in direct relation to a thermal mode of the basin. In conditions of Kuchurgan water storage basin the operational mode of Moldavian state district power station is considered to be optimal with a volume of the developed electric power till 10–11 mlrd is Kw/hour.

УДК 597.5.591.9

**АРЕАЛ АМУРСКОГО ЧЕБАЧКА *PSEUDORASBORA PARVA*  
(TEMMINCK & SCHLEGEL, 1846) (CYPRINIDAE) И  
ФАКТОРЫ СПОСОБСТВУЮЩИЕ  
ЕГО РАСШИРЕНИЮ**

**Л.А. Фролова**

Казанский государственный университет, 420008, Казань  
Казань, 420008, ул. Кремлевская, 18, биолого-почвенный факультет  
Larisa.Frolova@soros.ksu.ru

Амурский чебачок или малая псевдорасбора (*Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846)) – вид с первоначальным азиатским ареалом имеет на сегодня устойчивые популяции во многих европейских странах и продолжает расширять свой ареал.

Прослежены пути распространения вида и выделены факторы, объясняющие его успешную экспансию: в частности высокая экологическая пластичность, высокие потенциальные адаптивные возможности при выборе микробиотопов и видоспецифичные репродуктивные особенности.

**ВВЕДЕНИЕ**

*Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846) или амурский чебачок – один из 400 видов животных и растений так называемых неозоев отмеченных в Центральной Европе, то есть видов завезенных и интродуцированных в состав фауны Европы после 1492 г. (дата открытия Америки) благодаря прямому или опосредованному действию человека [22]. Данный вид, непреднамеренно интродуцированный около сорока лет назад в Европу, за указанное время расселился практически по всей ее территории, продолжает осваивать новые территории в северной Африке и юго-западной Азии. Задачей исследования было проследить пути расселения вида за пределами естественного ареала по литературным материалам и попытаться выделить факторы, обеспечившие успешную экспансию вида.

Краткое описание и систематическое положение. *Pseudorasbora parva* (русское название – амурский чебачок или малая псевдорасбора) принадлежит к подсемейству Gobioninae семейства Cyprinidae. Nichols [25] описывает для Китая 6 подвидов единственного вида рода *Pseudorasbora*, в то время как Banarescu и Nalbant [13] выделяет лишь различные морфологические вариации этого полиморфичного вида. Г.В. Никольский [6] также считает, что некоторые из подвидов, описанные Nichols [25], не являются самостоятельными, выделены ошибочно на основании сравнения разноразмерных особей, у которых

сильно выражены морфологические возрастные изменения.

Амурский чебачок – мелкая рыба, с редко встречающимся у представителей семейства карповых явлением – самцы крупнее самок. В природе взрослые особи редко достигают длины более 10 см, хотя С.Х. Пипоян [7] отмечает поимку в водах Армении самца размером 12 см. Основными отличительными морфологическими признаками являются маленький, полулунной формы верхний рот и выраженная в различной степени темная полоса, тянущаяся от вершины рыла до основания верхней хвостовой лопасти. Особенно хорошо эта полоса выражена у молоди и половозрелых самцов в брачный период. D III 7, A III 6, I.I. 36 [3].

**Ареал.** Амурский чебачок – вид с естественным азиатским ареалом. Типа *typica* для данного вида – Нагасаки, Япония [6]. Л.С. Берг [2] указывает на места находок вида кроме Японии также в Китае, Корее, бассейне реки Амур у г. Хабаровск, в нижнем и среднем течение самого Амура, в реке Уссури, и озере Ханка. Дополняя сведения о естественном ареале распространения данного вида Л.С. Берг [3] упоминает уже весь бассейн реки Амур, о-ва Суйфун, Тумень-юла, Ялу, Ляо-хе, Формоза. В бассейне Амура вид наиболее многочислен в среднем течение от Благовещенска до Комсомольска-на-Амуре, ниже и выше этого участка – редким [6]. Таким образом исходный ареал амурского чебачка простирается в направлении с севера на юг от Тайваня до Амура, примерно от 23° до 53° с.ш.. С востока на запад естественный ареал охватывает нижние участки бассейнов рек, впадающих в Тихий океан, и включает в себя прилегающие острова Формоза и Хондо (Тайвань) между 100° и 140° в.д. В континентальной части Центральной Азии вид отсутствует. Интродуцирован в водоемы Казахстана и Узбекистана [12], а также в Европу.

По наиболее вероятной и общепризнанной версии непреднамеренная интродукция вида в Европу произошла в начале 60-х годов. Амурский чебачок был случайно завезен вместе с одним из видов растительноядных карповых, а конкретнее с белым амуром (*Stenopharyngodon idella*), из бассейна реки Янцзы (Китай) в Румынию в 1960 г. В 1961 г. в долине реки Иаломита впервые зарегистрирован первый случай поимки этого вида в Европе [14]. По другой, менее известной и принятой версии, вид был целенаправленно вселен в водоемы Румынии в качестве кормового объекта для хищных рыб [20]. В течение нескольких последующих лет сообщалось об успешном и очень быстром продвижении вида с востока на запад в бассейне реки Дунай и проникновение его в большинство естественных водоемов Румынии южнее Карпат [32]. Отсюда началась экспансия вида в страны Восточной, а

затем и Западной Европы по Дунаю. Уже в 1967 г. первые экземпляры амурского чебачка были обнаружены на венгерском участке Дуная, а несколько позднее отмечено естественное размножение амурского чебачка в другом венгерском водоеме. В 1974 сообщается о первой находке этого вида на чехословацком берегу р. Тиса в бассейне Дуная [36]. В 1976 году вид найден в реке Ипель – притоке Дуная на территории Словакии [19]. За короткий срок, уже к середине восьмидесятых годов вид стал обычным на всей территории бывшей Чехословакии, в отдельных водоемах представляя собой основной по численности компонент ихтиофауны [8].

В Австрии особи данного вида впервые отловлены в 1982 году в одном из притоков Дуная. Е. Вебер [32], предполагает, что к моменту обнаружения амурского чебачка в этой стране, он уже был широко расселен на ее территории, однако из-за его небольших размеров и непримечательного внешнего вида был не отмечен.

Таким образом, данный вид за короткое время широко расселился в бассейне Дуная, местами достиг значительной численности [36]. Одно из мест обитания амурского чебачка в Чехословакии, указание на которое содержится у В. Баруса [14] (рыбозаводный пруд «Видлак»), находилось в водосборном бассейне р. Эльбы и проникновение вида в этот водосборный бассейн предопределило появление амурского чебачка в восточной Германии.

Первое документированное сообщение о проникновении амурского чебачка на территорию восточной Германии датируется 1985 годом. Было отловлено 18 экземпляров в небольшом спускном пруду в округе Гера, в Тюрингии в сентябре 1984 года [11], хотя предположения о возможном присутствии амурского чебачка в южных районах Германии появились несколько раньше [10]. В мае 1988 г. при анализе состояния ихтиофауны реки Рейн амурский чебачок был включен в список видов обитающих в Рейне [2]. К середине 90-х годов сообщалось уже о 150 местах находок амурского чебачка в разнообразных водоемах и водотоках на территории Германии [21]. Дальнейшее распространение чебачка происходило через Рейнско-дунайский канал и реку Рейн, через которые вид расселялся в другие западноевропейские страны [33].

Во Францию амурский чебачок предположительно проник в 1978–1979 годах. Происхождение французских популяций амурского чебачка на сегодняшний день остается доподлинно неизвестным, хотя непосредственная близость мест находок вида во Франции к верхней части рейнского бассейна наводит на мысль об аналогичном способе распространения [9]. Наиболее вероятно, что обнаруженные впервые в

1988 г. на территории Италии популяции амурского чебачка родом из бассейна Дуная [27]. Таким образом, наиболее западная граница ареала распространения этого вида в Европе в середине 90-х годов находилась во Франции, что подтверждается отсутствием этого вида в составе ихтиофауны бассейнов испанских рек [18].

Второй центр распространения амурского чебачка – юго-восточная Европа, на границе Албании и Югославии, где вид был интродуцирован в Скадарское озеро в качестве кормового объекта для хищных рыб. Впервые в Скадарском озере он обнаружен в 1972 г., а в 1979 г. вид был отмечен в озере Саско и реке Бояна (Скадарская озерная система) в Югославии [23]. В дальнейшем вид из Скадарского озера проник и успешно акклиматизировался в других озерах и реках Югославии, в Македонии и Греции [15]. Предположительно, обнаруженные в 1982 году на европейской части Турции (во Фракии) популяции амурского чебачка имеют то же происхождение [33]. По мнению А. Боядиева и И. Бассмакова [16] южные болгарские популяции также являются результатом этой инвазии в юго-восточной Европе.

Практически одновременно с завозом растительноядных рыб в Румынию, аналогичные мероприятия, направленные на развитие прудового рыбоводства и мелиорацию водоемов проводились во многих республиках бывшего Советского Союза. Именно таким образом, с начала 60-х годов с многократными завозами разных видов рыб (белый амур *Ctenopharyngodon idella*, белый толстолобик *Hypophthalmichthys molitrix*, карп *Cyprinus carpio*, пестрый толстолобик *Aristichthys nobilis*, черный амур *Mylopharyngodon piceus*) амурский чебачок был преднамеренно интродуцирован в водоемы Армении [7], Туркмении, Казахстана, Литвы и Украины [4].

В естественных водоемах и прудовых хозяйствах Украины вид успешно акклиматизировался, стал наращивать численность. Весной 1972 г. особи были впервые отмечены в низовье Днестра, летом того же года – в Дунае. В 1973 г. вид отмечали в сбросных каналах и прудах Цюрупинского нерестово-выростного хозяйства на нижнем Днепре [5]. Бассейны рек Днестра и Днепра стали еще одним промежуточным центром расселения амурского чебачка. Предположительно, в Польшу и Болгарию чебачок проник с территории Украины [33].

В Армении, попав в пруды рыботорварных хозяйств Араратской равнины, амурский чебачок проник в естественные водоемы и в настоящее время является одним из широко распространенных и многочисленных видов рыб в озерах, реках и каналах Араратской равнины [7].

Одно из первых мест в Средней Азии, куда вид был интродуцирован – это Капчагайское водохранилище [1]. К сожалению, сведе-

ния о дальнейшем распространении вида и его сегодняшнем ареале в Средней Азии весьма неполны и отрывочны и не составляют целостной картины. Можно только утверждать, что амурский чебачок из-за его неприметности и небольших размеров распространен значительно шире, чем в настоящее время известно. Не занимаясь целенаправленно изучением зоны распространения этого вида, А. Арнольд [12] обнаружил многочисленных особей в трех достаточно удаленных друг от друга районах: в одном из каналов в Каракумах недалеко от Ургенташа, в арыках Бухары и в окрестностях г. Хива (Узбекистан).

В настоящее время вид продолжает расселяться. В 90-х годах впервые зарегистрированные случаи вылова амурского чебачка в азиатской части Турции (Южная Анатолия), на Ближнем востоке (Иран) [33], в северной Африке (Алжир и бассейн рек Тигр и Евфрат) [17].

Факторы, предопределяющие успешную экспансию вида. В качестве пригодных для данного вида биотопов указываются самые различные по классификационным признакам водоемы. Вид населяет реки [3, 14, 32], оросительные каналы [7], арыки [12], запруды и водохранилища, небольшие водоемы, возникающие после половодий, а также озера [23], рыбообразные пруды и их водозаборные и сбросные каналы [4, 5], небольшие сильно эвтрофированные пруды в центре больших городов [12]. Вид нетребователен к качеству воды. В Бухаре амурский чебачок отмечен в арыках при неблагоприятных условиях (высокая скорость течения и хлорирование до ощутимого запаха) и мог, если не существовать там долгое время, то как минимум, использовать арыки в качестве транспортных артерий для распространения [12]. Имеются факты, свидетельствующие, что популяции амурского чебачка достигают наибольшей численности в сильно эвтрофированных водоемах. Вид способен достаточно успешно существовать и размножаться в гиперэвтрофированных водоемах, где популяции других видов рыб находятся в угнетенном, ослабленном состоянии и испытывают значительные нарушения в репродуктивном процессе [31]. Таким образом, одной из предпосылок успешного освоения амурским чебачком разнообразных пресноводных экосистем со стоячей и проточной водой можно считать антропогенное влияние, в частности повышение уровня трофности водоемов.

Вид нетребователен к температурному режиму. В Центральной Европе зимние понижения температуры воды в водоемах амурский чебачок переносит также бесп проблемно, как и летние повышения температуры до 32°C. Отмечено, что наибольшую пищевую активность вид проявляет при температуре выше 15°C, оптимум наблюдается около 24°C, выше 30°C пищевая активность резко снижается [29, 30].



Целый ряд видоспецифических репродуктивных особенностей амурского чебачка также способствуют его дальнейшему расселению и успешной конкуренции с видами – аборигенами. Половозрелым амурский чебачок становится на 2-ом году жизни и далее нерестится каждый год, нерест порционный [6]. Сроки нереста очень вариабельны и могут значительно смещаться в зависимости от условий окружающей среды. На родине в Китае вид размножается с конца марта до середины июня [34]. В Чехии отмечен нерест с мая по июль при непрерывном созревании ооцитов [8]. Близкие сроки нереста называют и другие авторы – с мая по август [28, 30]. Е. Вебер считает, что вид размножается короткими интервалами с мая до наступления осени [32]. Но при достаточно высоких температурах воды амурский чебачок может размножаться и осенью, доказательством чему служат поимки нами личинок данного вида на ранних этапах развития в Германии в конце октября. Мелкая, очень клейкая икра откладывается в тихих местах, в прибрежье, на подводные объекты: раковины моллюсков, кусты растений, ветки, листву. Отдельные икринки способны переноситься с подводными предметами на большие расстояния, что способствует расселению и появлению вида в новых местах. Самцы проявляют агрессивную заботу о потомстве, защищая и охраняя отложенную икру [31], увеличивая выживаемость потомства.

Спектр питания амурского чебачка схож с таковым молоди промысловых видов рыб. Основу питания исследованных нами личинок амурского чебачка длиной от 11 до 20 мм составляли ветвистые и веслоногие рачки. У рыб более 20 мм в составе пищевого комка появляются хирономиды. В дальнейшем доля бентосных организмов в пище амурского чебачка возрастает [35]. Таким образом, вид может составить конкуренцию молоди других видов, потребляя с ними одни и те же кормовые объекты. Кроме того, чебачок может поедать икру других, более ценных в промысловом отношении видов рыб, в частности судака (*Stizostedion lucioperca*) [30]. В аквариумных условиях вид весьма неприхотлив к условиям содержания и питания, в частности, хорошо чувствуя себя на сухом корме. Поэтому предлагается использование его в качестве стандартного экспериментального организма, например при экспериментах по гибридизации, и тест-объекта в токсикологических опытах [4]. В местах, куда проник данный вид, пытаются найти ему и другое применение. Его предлагают использовать как наживку при спортивной ловле рыб [12]. В некоторых прудовых хозяйствах Албании вид включают в рацион крупных хищных рыб [23]. Но все эти направления использования чебачка имеют второстепенное значение. В естественных водоемах он конкурирует на почве

питания с другими видами и было бы рациональнее использовать кормовую базу для выращивания более ценных в промысловом отношении видов рыб.

## ВЫВОДЫ

Быстрое распространение интродуцированного вида объясняется его высокой экологической пластичностью, также высокими потенциальными адаптивными возможностями при выборе микробиотопов и видоспецифичными репродуктивными особенностями.

Дальнейшее неконтролируемое распространение амурского чебачка из-за его низкой промысловой ценности и возможности негативного воздействия на другие виды является нежелательным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баумбетов А. Морфологическая характеристика амурского чебачка *Pseudorasbora parva* (Schl.) Капчагайского водохранилища // Биол. науки. Алма-Ата: Изд-во Казах. гос. ун-т., 1975. Вып.2. С. 4855.
2. Берг Л.С. Рыбы // Фауна России и сопредельных стран. Петроград: 1914. С. 337–704.
3. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Часть 1. Л.: Изд-во ВНИОРХ, 1932. 402 с.
4. Козлов В.И. Амурский чебачок – *Pseudorasbora parva* (Schl.) – новый вид ихтиофауны бассейна Днестра // Вестник зоологии. 1974. № 1. С. 77–78.
5. Мовчан Ю.В., Козлов В.И. Морфологическая характеристика и некоторые черты экологии амурского чебачка (*Pseudorasbora parva* (Schlegel)) в водоемах Украины // Гидробиол. журнал. 1978. Т.14. Вып. 5 С. 42–48.
6. Никольский Г.В. Рыбы бассейна Амура. М.: Изд-во Ан. СССР. 1956. 551 с.
7. Пупоян С.Х. Амурский чебачок *Pseudorasbora parva* (Cyprinidae) в водоемах Арапатской равнины (Армения) // Вопросы ихтиологии. 1996. Том 36. № 4. С. 549–551.
8. Adamek Z., Siddiqui M.A. Reproduction parameters in a natural population of topmouth gudgeon, *Pseudorasbora parva*, and its condition and food characteristics with respect to sex dissimilarities // Polskie Archiwum Hydrobiologii. № 44 (1–2). P.145–152.
9. Allardi J., Chancerl F. Sur la presense en France *Pseudorasbora parva* (Schlegel 1842) // Bull. Fr. Peche Piscic. 1988. V. 308. P. 35–37.
10. Anonymus. Kommt der Amurgurndling auch nach Bayern – oder ist er schon da? // Fischer und Teichwirt. 1979. № 30. S. 53–54.

11. *Arnold A. Pseudorasbora parva* (Schlegel 1842) nun auch in der DDR // Z. Binnenfischerei DDR. 1985. № 32. S. 182–183.
12. *Arnold A.* Eingebürgerte Fischarten. Zur Biologie und Verbreitung allochthonen Wildfische in Europe. Wittenberg: Neue Brehm-Buecherei, 1990. 144 s.
13. *Banarescu P., Nalbant T.T.* Studies on the systematic of Gobioinae (Pisces, Cyprinidae) // Rev. Roum. Biol. 1965. № 10. P. 219–229.
14. *Barus V., Kux Z., Libosvarsky L.* On *Pseudorasbora parva* (Pisces) in Czechoslovakia // Folia zoologica. 1984. V.33(1). P. 5–18.
15. *Bianco P.G.* Occurrence of the Asiatic gobionid *Pseudorasbora parva* (Temminck and Schledel) in south-eastern Europe // J. Fish. Biol. 1988. № 32. P. 973–974.
16. *Boyardjiev A., Bassamakov I.* Sur la dissemination de la *Pseudorasbora parva* (Schlegel 1842) en Bulgarie // Nauchni Trudove Plovdivski Universitet. № 26. P.67–73.
17. *Coad, B.W.* Exotic fish species in the Tigris-Euphrates basin // Zoology in the Middle East. 1996. № 13(0). P. 71–83.
18. *Elvira B.* Native and exotik freshwater fishes in Spanish river basins // Freshwater Biol. 1995. № 33. P.103–108.
19. *Enenkl V.* *Pseudorasbora parva* i u nas // Rybarstvi. 1977. № 4. S. 81.
20. *Gebhardt H., Ness A.* Fische: die heimischen Suesswasserfische sowie Arten der Nord- und Ostsee. Muenchen: BLV Verlagsgesellschaft, 2000. 127 s.
21. *Kapus B., Salewsky V.* Vorkommen, Verbreitung und Habitate des eingeschleppten Blaubandbaerblings *Pseudorasbora parva* Schlegel 1842 (Cyprienidae, Pisces) in Deutschland // Lauberbornia. 1997. H 31. S. 49–64
22. *Kinzelbach R.* Die Neozoen // Gebietsfremden Tierarten. Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Landsberg: Ecomed, 1996. S. 3–14.
23. *Knezevic B.* *Pseudorasbora parva* (Schlegel) (Pisces, Cyprinidae), new genus and species in the Lake Skadar // Glas. Repub. Zavoda Zast. Pripode. Titograd: Priodnjakog Muszeja, 1981. P. 79–84.
24. *Lelek A., Kuhler C.* Zustandsanalyse der Fischartengemeinschaften im Rein (1987–1988) // Fischökologie. 1989. № 1. S. 47–64.
25. *Nichols J.T.* The fresh-water fishes of China // Natural History of Central Asia. New York: The Amer. Mus. Nat. Hist., 1943.Vol. IX. 322 s
26. *Paerke H.J.* Einbürgerung fremdländischer Fischarten // Deutsche Aquarien Terrarien Zeitung. 1992. № 45. S. 262–265.
27. *Sala L., Spanpanato A.* Prima segnalazione di *Pseudorasbora parva* (Schlegel 1842) in acque interne italiane // Riv. Idrobiol. 1990. №. 29.

- S. 461–467.
28. Salewski V., Kappus B. Charakterisierung eines weiteren Nachweises des Blaubandbärblings (*Pseudorasbora parva*) (Schlegel 1842) (Cyprinidae, Gobioninae) in Hessen // Hess. Faun. Briefe. 1996. № 15. S. 26–34.
  29. Schmidt O. Blaubandbärbling *Pseudorasbora parva* weiter auf dem Vormarsch // Fischukologie Aktuell. 1991. № 4. S. 21–22.
  30. Stein H., Hert O. *Pseudorasbora parva* – eine neue Art der mitteleuropäischen Fischfauna // Der Fischwirt. 1986. № 36. S. 1–2.
  31. Ujie M., Mizuguchi K. The change in fish caten composition and the predominance of the cyprinid, *Pseudorasbora parva*, in over-eutrophicated Lake Taganuma // Journal of the Tokyo University of Fisheries. № 81 (2). P.71–84.
  32. Weber E. Die Ausbreitung des Pseudokeilfleckbarben im Donauraum // Österreichs Fischerei. 1984. № 37. S. 63–65.
  33. Windekamp R.H., Neer W.V., Kuecuek F., Uenluesayin M. First record of the eastern Asiatic gobionid fish *Pseudorasbora parva* from the Asiatic part of Turkey // Journal of Fish Biology. 1997. № 51. P. 858–861.
  34. Zang T., Cui Y., Fang R., Xie S. Population biolody of topmouth Gudgeon (*Pseudorasbora parva*) in Bao'an Lake. II. Reproduction // Acta Hydrobiology Sinica. 1998. № 22 (SUPPL.). P.154–163.
  35. Zang T., Cui Y., Fang R., Xie S. Population biolody of topmouth Gudgeon (*Pseudorasbora parva*) in Bao'an Lake. III. Food habits // Acta Hydrobiology Sinica. 1998. № 22 (SUPPL.). P.164–167.
  36. Zitnan R., Holcik J. On the first find of in Czechoslovakia // Zool.Listy. 1976. № 25. P. 91–95.

**THE DISTRIBUTION OF ALLOCHTHONOUS AREAL OF  
*PSEUDORASBORA PARVA* (TEMMINCK AND  
SCHLEGEL, 1846) (CYPRINIDAE) AND IT'S  
PROMOTING FACTORS**

L.A. FROLOVA

Kazan state university, 420008, Kazan, Russia

Stone moroco or topmouth gudgeon (*Pseudorasbora parva*) is a species with a natural Asian areal which has now a days steady populations in many European countries and this species are continuing an expansion of it's allochthonous areal.

In the survey article, it was detailed and shown, the way of spreading of this species and evaluated factors which explain successful expansion of the species. Specifically, it was called the vast ecological plasticity, the large potential adaptation may be in case of selection of microbiotype and special type of reproductive specificity.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Беляева П.Г.</i> Фитоперифитон среднего течения р. Сылга (бассейн Камы) .....	3
<i>Воронин М.Ю., Ермохин М.В.</i> Фауна и экология высших ракообразных бентоса водоема –охладителя Балаковской АЭС .....	11
<i>Деревенская О.Ю.</i> Биоразнообразие зоопланктона озер Среднего Поволжья .....	18
<i>Евдокимов Н.А.</i> Жизненные циклы двух видов <i>Hemidiaptomus</i> Sars, 1903 (Copepoda, Calanoida) из временных водоемов Саратовского Заволжья .....	31
<i>Ермохин М.В.</i> Влияние паводкового режима на размерно-возрастную структуру популяций двустворчатых моллюсков сем. Unionidae .....	
<i>Ефимова Е.М.</i> Динамика численности и фотосинтетической активности зеленой водоросли <i>Ankistrodesmus acicularis</i> (Korsch.) при возрастании клеточного дефицита фосфора .....	53
<i>Задереев Е.С., Толмеев А.П.</i> Формирование вертикального распределения зоопланктона в озере Шира.....	59
<i>Зарубина Е.Ю., Кириллов В.В., Тушкова Г.И., Долматова Л.А., Ким Г.В., Кириллова Т.В., Ковешников М.И., Крылова Е.Н.</i> Оценка качества воды и донных отложений реки Томи в период пониженного потенциала самоочищения .....	77
<i>Иванова А.П., Копырина Л.И.</i> Водоросли озера Белого (Якутия) .....	89
<i>Ильяшенко М.Е., Уланова Ю.А., Белевич Т.А.</i> Фотосинтетическая активность морских планктонных водорослей <i>Thalassiosira weissflogii</i> (Bacillariophyta) и <i>Tetraselmis viridis</i> (Prasinophyta) при ассимиляции мочевины и нитратов в зависимости от освещенности .....	97
<i>Каретникова Е.А.</i> Биоиндикация фенольного загрязнения поверхностных вод .....	105
<i>Ковешников М.И., Крылова Е.Н.</i> Зообентос реки Томи в период пониженного потенциала самоочищения, 2000–2001 год.....	112
<i>Куликова И.Ю.</i> О самоочищении Северного Каспия от нефтяного загрязнения .....	124
<i>Лапушкина Е.Е., Андреева А.М., Слынько Ю.В.</i> Особенности раннего развития и анализ устойчивости к действию .....	

пестицидов леща <i>Abramis brama</i> (L.), плотвы <i>Rutilus rutilus</i> (L.) и их гибридов первого поколения.....	132
Макарецва Е.С., Бардинский Д.С. Структурно–функциональная роль отдельных таксономических групп в зоопланктоне мезотрофного озера (на примере оз. Красное).....	145
Митрофанова Е.Ю. Особенности круглогодичной вегетации фитопланктона Телецкого озера.....	153
Павлова О.А. Экспериментальное изучение влияния добавок биогенных элементов на фитопланктон эвтрофного загрязняемого озера.....	166
Полуконова Н.В. Таксономическая значимость морфо-анатомических признаков самок комаров-звонцов рода <i>Chironotus</i> Meigen (Chironomidae, Diptera).....	173
Светличный Р.В., Егорова И.Н., Судакова Е.А. Водоросли р. Китой и ее пойменных водоемов .....	183
Уланова А.Ю., Ильяшенко М.Е., Белевич Т.А. Динамика содержания фотосинтетических пигментов в культурах морских планктонных водорослей <i>Tetraselmis viridis</i> (Prasinophyta) И <i>Thalassiosira weissflogii</i> (Bacillariophyta) в зависимости от источника азота и уровня освещенности.....	196
Федосеева Е.А., Лозовская М.В., Васильева Л.М. Анализ морфометрических и экстерьерных признаков гибридов осетровых в связи с их товарным выращиванием .....	204
Филиппенко С.И. Высшие ракообразные Кучурганского водохранилища-охладителя в условиях нестабильного режима работы Молдавской ГРЭС .....	214
Фролова Л.А. Ареал амурского чебачка <i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck & Schlegel, 1846) (Cyprinidae) и факторы способствующие его расширению .....	227

**Биология внутренних вод:  
проблемы экологии и биоразнообразия**

**Материалы конференции**

Издание выполнено при поддержке РФФИ. Грант № 02–04–58081

Научная редакция: Бобров А.А.

Минеева Н.М.

Добрынина Т.И.

Кияшко В.И.

Лазарева В.И.

Томилина И.И.

Комов В.Т.

Компьютерная верстка: Цветков А.И.

---

Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага типографская. Гарнитура Times Roman.  
Печать офсетная. Печ. л. ... Тираж 250 экз.

---

Институт биологии внутренних вод,  
152742, п. Борок, Некоузский р-н, Ярославская область  
Рыбинский дом печати,