

## Влияние минерализации на зоопланктон озера Чаны

Н. И. ЕРМОЛАЕВА, О. С. БУРМИСТРОВА

*Институт водных и экологических проблем СО РАН  
630090 Новосибирск, Морской просп., 2*

### АННОТАЦИЯ

Исследованы видовое разнообразие и количественные характеристики зоопланктона оз. Чаны в 2001–2002 гг. Обнаружено 76 видов: 35 – коловраток, 31 – ветвистоусых и 10 – веслоногих рачков. Сравнение сообществ зоопланктона в разных по величине минерализации участках озера показывает, что при увеличении солености в оз. Чаны происходит замещение пресноводного комплекса зоопланктона на солоновато-водный. Количество видов уменьшается с 71 в пресной до 28 в соленой воде. Биоразнообразие зоопланктона резко падает при росте минерализации от 1 до 3 г/л. При росте минерализации с 3,5 до 5,5 г/л отмечается некоторое расширение видового спектра за счет появления солоновато-водных видов, не встречающихся на более опресненных участках. Дальнейшее уменьшение числа видов происходит за счет выпадения пресноводных организмов, которые замещаются галобионтами меньшего видового разнообразия.

### ВВЕДЕНИЕ

Озеро Чаны представляет собой уникальную экосистему, поскольку различные его участки сильно различаются по величине минерализации. Это дает возможность изучить экологию видов по отношению к минерализации, их взаимодействие друг с другом, а также проследить, в каких границах минерализации происходит замещение пресноводного комплекса видов зоопланктона на солоновато-водный.

Зоопланктон оз. Чаны ранее исследован Н. М. Ивановым и Е. С. Макаревой [1], Л. С. Визер [2] и М. В. Тимофеевой [3]. Н. М. Иванов и Е. С. Макарева определили видовой состав, распределение зоопланктона по озеру в зависимости от экологических условий и его продукционные возможности. Исследованием распределения массовых видов зоопланктона оз. Чаны по градиенту солености занималась Л. С. Визер. Зоопланктон Малых Чанов исследовала М. В. Тимофеева.

Цель данной работы – изучение зависимости качественного и количественного рас-

пределения зоопланктона от степени минерализации различных плесов. Для этого определяли видовой состав зоопланктона, его количественные характеристики и распределение по акватории, а также анализировали распределение всех обнаруженных видов по градиенту солености. Подобная работа в последний раз проводилась в 1986 г., Л. С. Визер ограничилась анализом семи массовых видов зоопланктона. В настоящей работе проведен анализ распределения по градиенту 24 массовых видов, включая субдоминантов. Кроме того, проведен статистический корреляционный анализ для выявления основных гидрохимических факторов, влияющих на распределение зоопланктона.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал для работы собран в июле–августе 2001 г. и в июле 2002 г. на всех плесах оз. Чаны, включая и отчлененный Юдинский. Всего собрано и обработано 176 проб зоопланктона. Пробы с поверхности объемом 50

или 100 л фильтровали через сеть Апштейна (газ № 64, размер ячеек 0,024 мм<sup>2</sup>) и фиксировали 4 % раствором формалина. Для определения видового состава и численности зоопланктона пробы анализировали в камере Богорова [4]. При определении видов использовали следующие определители: Е. Ф. Мануйловой [5], Л. А. Кутиковой [6], Е. В. Борущкого и др. [7] и “Определитель пресноводных...” [8]. Индивидуальную массу ракообразных и коловраток определяли по длине тела с использованием уравнения зависимости между этими показателями [9]:  $W = ql^b$ , где  $W$  – масса, мг (сырая),  $l$  – длина, мм,  $q$  – масса при длине 1 мм,  $b$  – показатель степени. При изометрическом росте (Rotatoria)  $b = 3$ , при аллометрическом (Copepoda, Cladocera) – больше или меньше 3. Для коловраток использовали значения  $q$ , предложенные Ruttner-Kolisko [10]. Массу науплиев копепоид рассчитывали по формуле эллипсоида вращения, допуская, что их плотность равна единице. Для повышения достоверности измерялось не менее 50 экз. видов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В озере присутствуют представители пресно- и солоновато-водного комплексов зоопланктона. Всего обнаружено 76 видов и подвидов (табл. 1).

**Оз. Малые Чаны** – наиболее опресненный участок озера. Минерализация повышается с 0,25 до 0,78 г/л постепенно по мере удаления от устья рек Чулым и Каргат. Зоопланктон здесь представлен 63 видами и формами (27 видов и форм коловраток, 27 ветвистоусых и 9 веслоногих ракообразных). Отмечено развитие пресноводного кладоцеро-копепоидного комплекса. Доминируют *Daphnia longispina* (Müller) (до 38 тыс. экз./м<sup>3</sup>), *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin) (4,5 тыс. экз./м<sup>3</sup>), *Chydorus sphaericus* (Müller) (до 72 тыс. экз./м<sup>3</sup>), *Mesocyclops leuckarti* (Claus) (до 6,4 тыс. экз./м<sup>3</sup>). Эти виды сохраняют высокую биомассу и численность в течение всего вегетационного периода. В западной и северной частях озера встречается небольшое количество *Arctodiaptomus salinus* (Daday) (до 2,1 тыс. экз./м<sup>3</sup>), который, по-видимому, проникает сюда из

Чиняихинского плеса во время стогно-нагонных явлений [11]. Из коловраток доминируют *Keratella quadrata* (Müller), *Asplanchna priodonta* Gosse и *Brachionus angularis bidens* Plate. В пробах 2001 г. обнаружено значительное количество *Sida crystallina* (Müller) и *Polyarthra remata* (Skor.), которые ранее для оз. Малые Чаны отмечались как единичные и лишь в маловодные 1982–1984 гг. [3, 11, 12]. В прибрежной зоне богато представлены типично зарослевые и фитофильные формы, такие как *Scapholeberis mucronata* (Müller), *Macrotrix hirsuticornis* Norman, *Simocephalus vetulus* (Müller), *Simocephalus serrulatus* (Koch), *Eucyclops serrulatus* Fisch. и др. В 2002 г. отмечено значительное развитие коловраток *Testudinella patina* var. *patina* (Herm.) и *Filinia longiseta* var. *longiseta* (Ehr.) и хищного рачка *Bythotrephes longimanus* Leydig (до 99 тыс. экз./м<sup>3</sup>), кроме того, в пробах обнаружен в значительном количестве *Bythotrephes cederstroemia* Schoedler (2–14 тыс. экз./м<sup>3</sup>), ни разу не встретившийся в 2001 г. Изменения видового состава зоопланктона Малых Чанов, по-видимому, произошли вследствие некоторого распреснения, обусловленного значительными осадками (минерализация в 2002 г. не превысила 0,45 г/л). В 1977–1978 гг. биомасса зоопланктона на этом плесе составила 16,7–17,4 г/м<sup>3</sup>, в 1980 г. – 5,7, в маловодном 1984 г. – 6,8–9,5 г/м<sup>3</sup>. В 2001 г. средняя биомасса зоопланктона на оз. Малые Чаны в июле – августе была 2,6, а максимальная – 5,8 г/м<sup>3</sup> (табл. 2).

**Чиняихинский плес** занимает промежуточное положение между пресноводными и осолоненными участками оз. Чаны. Общая минерализация воды в нем в период исследования была 2,91–3,28 г/л. По сравнению с Малыми Чанами резко обедняется пресноводный комплекс зоопланктона Чиняихинского плеса и заменяется солоновато-водным: *Brachionus plicatilis* Müller, *Hexarthra mira* (Hudson), *Moina microphthalma* Sars. Зоопланктон плеса в 2001 г. представлен 18 видами (7 – коловраток, 10 – ветвистоусых и 4 – веслоногих). Ведущие формы – *D. longispina*, *M. leuckartii*, *Cyclops strenuus* Fisch., *D. brachyurum*, *Ceriodaphnia reticulata* (Jurine), *A. salinus*. Наиболее массовыми формами коловраток были *K. quadrata*, *A. priodonta*, *Asplanchnopus hyalinus* Har. В 2002 г. отмечено уже

## Видовой состав зоопланктона оз. Чаны, распределение видов по градиенту минерализации

Оряд, вид	2001–2002 гг.				По Л.С. Ви- зер, 1974, 1980 гг. [11]				По Н.М. Ива- нову и Е.С. Макарцевой, 1977– 1978 гг. [1]
	Оз. Мал. Чаны	Чинийхин- ский плес	Оз. Яркуль	Тагано-Ка- занцевский плес	Ярковский плес	Юдинский плес	7	8	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Rotatoria									
<i>Brachionus leydigii</i> Cohn	+	-	-	-	-	-	+	+	
<i>Brachionus urceus</i> (Linnaeus)	+	-	-	-	-	-	+	+	
<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas	+	-	-	-	-	-	-	+	
<i>Brachionus angularis</i> Gosse	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Brachionus angularis bidens</i> Plate	+	-	-	-	-	-	+	+	
<i>Platias quadricornis quadricornis</i> (Ehr.)	+	-	-	-	-	-	+	+	
<i>Keratella cochlearis macrachantha</i> (Lauterborn)	+	-	-	-	-	-	+	+	
<i>Squamella rostrum rostrum</i> (Schmarda)	+	-	-	-	-	-	+	-	
<i>Notholca labis</i> Gosse	+	-	-	-	-	-	+	+	
<i>Polyarthra remata</i> (Skor.)	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Lecane luna</i> (Müller)	++	-	-	-	-	-	+	-	
<i>Keratella cochlearis tecta</i> (Gosse)	++	+	-	-	-	-	-	-	
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg	++	+	-	-	-	-	+	+	
<i>Brachionus quadridentatus</i> Hermann	+++	++	+	-	-	-	-	+	
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	+++	+++	+	+	-	-	+	+	
<i>Trichocerca cylindrica</i> (Imhoff)	+	-	-	-	-	-	+	+	
<i>Asplanchnopus hyalinus</i> Har.	+	+	-	-	-	-	+	-	
<i>Brachionus variabilis</i> Hempel	+	++	+	+	-	-	+	+	
<i>Testudinella patina patina</i> (Herm.)	+	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Keratella valga</i> (Ehr.)	+	-	-	-	-	-	+	-	
<i>Notholca squamula squamula</i> (Müller)	+	-	-	+	-	-	+	+	
<i>Euchlanis lyra</i> Hudson	+	-	-	-	+	-	+	-	
<i>Notholca acuminata acuminata</i> (Ehr.)	+	-	-	+	+	-	+	+	
<i>Lepadella obtusa</i> Van.	+	-	-	-	+	-	+	+	
<i>Filinia longiseta longiseta</i> (Ehr.)	++	-	-	+	+	-	+	+	
<i>Keratella quadrata quadrata</i> (Müller)	+	++	+++	+++	+	-	+	+	
<i>Filinia terminalis</i> (Plate)	+	++	++	++	+	-	+	+	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Brachionus quadridentatus</i> var. <i>melhemi</i> Bar. et. Dad.	-	+	++	++	+++	++	+	-
<i>Filinia major</i> Golditz	-	+	++	+	+	-	+	-
<i>Brachionus plicatilis</i> Müller	-	+	+	++	++	-	+	-
<i>Hexartra mira</i> (Hudson)	-	+	+	++	+	-	-	+
<i>Brachionus quadridentatus ancylonatus</i> (Schmarda)	-	-	+	-	+	-	-	-
<i>Brachionus plicatilis asplanchnoides</i> Charin	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Brachionus calyciflorus anuraeiformis</i> Brehm	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Hexartra fennica</i> (Levander)	-	-	-	-	++	+	-	+
Cladocera								
<i>Scapholeberis mucronata</i> (Müller)	+	-	-	-	-	-	+	-
<i>Pleuroxus trigonellus</i> (Müller)	+	-	-	-	-	-	+	+
<i>Apagis cylindrata</i> Sars	+	-	-	-	-	-	-	+
<i>Apagis longicaudata</i> Sars	+	-	-	-	-	-	+	+
<i>Bosmina longispina</i> · Leydig	++	-	-	-	-	-	+	+
<i>Daphnia cucullata</i> Sars	++	-	-	-	-	-	+	+
<i>Simocephalus vetulus</i> (Müller)	++	-	-	-	-	-	+	+
<i>Simocephalus serrulatus</i> (Koch)	++	-	-	-	-	-	+	+
<i>Sida crystallina</i> (Müller)	++	-	-	-	-	-	-	-
<i>Alona quadrangularis</i> (Müller)	++	-	-	-	-	-	+	+
<i>Alona rectangula</i> Sars	++	-	-	-	-	-	+	+
<i>Chydorus ovalis</i> Kurz	++	-	-	-	-	-	+	+
<i>Chydorus globosus</i> Baird	++	-	-	-	-	-	+	+
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linne)	++	-	-	-	-	-	+	+
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	+	+	-	-	-	-	+	+
<i>Macrotrix hirsuticornis</i> Norman	++	+	+	-	-	-	+	-
<i>Oxyurella tenuicaudis</i> (Sars)	++	+	+	-	-	-	+	-
<i>Bythotrephes longimanus</i> Leydig	++	+	+	-	-	-	+	+
<i>Bosmina longirostris</i> (Müller)	+++	++	+	-	-	-	+	+
<i>Bythotrephes cederstroemii cederstroemii</i> Schoedler	+++	++	+	-	-	-	-	-
<i>Daphnia longispina</i> (Müller)	+++	++	+	+	-	-	+	-
<i>Daphnia pulex</i> (De Geer)	++	+	+	+	+	-	-	-
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin)	++	++	++	+	+	-	+	+
<i>Chydorus sphaericus</i> (Müller)	++	++	++	+	+	+	+	+
<i>Ceriodaphnia reticulata</i> (Jurine)	+	+	++	+++	++	-	+	+

<i>Alona intermedia</i> Sars	+	++	+++	+	+	-	+	+	-	+	+
<i>Ceriodaphnia affinis</i> Lilljeborg	+	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (Müller)	-	+	++	+	+	-	+	+	-	+	+
<i>Daphnia magna</i> Straus	-	-	+++	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Moina microphtalma</i> Sars	-	+	+++	+	+	+++	+	+	+++	+	+
<i>Bosmina coregoni</i> Baird	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-
Соперода											
<i>Laophonte mohammed</i> (Blanchard et Richard)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paracyclops affinis</i> Sars	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eudiaptomus amblyodon</i> Marenzeller	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg)	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesocyclops oithonoides</i> (Sars)	+++	++	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Acanthocyclops viridis</i> Jurine	++	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)	++	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Eucyclops serrulatus</i> Fisch.	+	-	++	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cyclops strenuus</i> Fisch.	-	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Arctodiaptomus salinus</i> (Daday)	+	++	+++	+	+	+++	+	+	+++	+	+

Т а б л и ц а 2

Средняя (в числителе) и максимальная (в знаменателе) численность (экз./м<sup>3</sup>) и биомасса (г/м<sup>3</sup>) зоопланктона оз. Чаны в июле 2001 г. (данные усреднялись по 20 пробам с каждого плеса)

Водоем	Соперода			Cladocera			Rotatoria			Всего	
	Численность	Биомасса	Численность	Биомасса	Численность	Биомасса	Численность	Биомасса	Численность	Биомасса	
Оз. Мал. Чаны	56800	1,084	45660	1,418	14800	0,113	117260	2,615			
	99200	2,045	75340	3,372	19600	0,339	194140	5,756			
Чиняихинский плес	75600	3,928	28000	2,578	53880	0,066	157480	6,572			
	340800	23,899	64200	4,009	106000	0,089	511000	27,997			
Оз. Яркуль	101600	1,255	12860	0,964	16000	0,012	130460	2,231			
	169600	8,625	87200	7,524	32800	0,028	289600	16,177			
Тагано-Казанцевский плес	56800	3,898	38400	1,603	43260	0,013	138460	5,514			
	173200	12,222	101240	5,521	51200	0,015	325640	17,758			
Ярковский плес	42800	2,599	7620	3,706	800	0,0002	51220	6,305			
	199600	17,220	18500	6,361	9280	0,018	227380	23,599			
Юдинский плес	336000	14,212	3200	0,132	5600	0,013	344800	14,357			
	377600	17,357	6980	0,172	6400	0,015	390980	17,544			

10 видов коловраток, 12 – ветвистоусых и 4 – веслоногих рачков. В состав доминантов вошли *Ceriodaphnia quadrangula* (Müller), *Filinia major* Golditz, *Brachionus quadridentatus* var. *melheni* Var. et. Dad. и, как и в Малых Чанах, значительное развитие получили крупные хищники *B. longimanus* (48 тыс. экз./м<sup>3</sup>) и *B. cederstromii* (27 тыс. экз./м<sup>3</sup>). В 1977–1978 гг. биомасса зоопланктона на Чиняихинском плесе составила 11,2, в 1980 г. – 11,5 г/м<sup>3</sup>. В 2001 г. средняя биомасса была 6,6, а максимальная – 29,0 г/м<sup>3</sup> (см. табл. 2).

**Оз. Яркуль.** Общая минерализация воды в озере 3,41–3,61 г/л. В 2001 г. зоопланктонное сообщество представлено 16 видами (4 вида коловраток, 9 – ветвистоусых и 3 – веслоногих ракообразных). Здесь сформировался солоновато-водный кладоцерово-копеподный комплекс. Наиболее многочисленны *A. salinus*, *C. reticulata* и *D. brachyurum*. В 2002 г. на этом участке обнаружено уже семь видов коловраток, 14 – ветвистоусых и те же три вида веслоногих рачков, что и в 2001 г. В число доминантов вошли *C. quadrangula* и *M. microphthalma*, из коловраток – *F. major* и *B. quadridentatus* var. *melheni*. На Ярковском плесе отмечено присутствие *B. longimanus* (6 тыс. экз./м<sup>3</sup>) и *B. cederstromii* (2 тыс. экз./м<sup>3</sup>). Средняя биомасса зоопланктона в 1977–1978 гг. 6,1–10,3 г/м<sup>3</sup>, в 1980 г. – 2,3, в 2001 г. – 2,2 г/м<sup>3</sup> (максимальная 16,2 г/м<sup>3</sup>).

**Тагано-Казанцевский плес.** Тагано-Казанцевский плес по видовому составу зоопланктона несколько богаче Чиняихинского, поскольку здесь много участков, защищенных от волнобоя, мелководий вокруг островов, проток, что способствует развитию зоопланктона. Минерализация воды в плесе 5,50–6,07 г/л. В 2001 г. в пробах обнаружен 21 вид зоопланктеров: 9 – коловраток, 8 – ветвистоусых и 4 веслоногих ракообразных. Доминировали *A. salinus*, *C. reticulata* и *D. brachyurum*. Высока была роль *Daphnia magna* Straus и *M. microphthalma*. На участках, прилегающих к Чиняихинскому плесу, встречались *D. longispina*. В 2002 г. доминировали, как и в оз. Яркуль и на Чиняихинском плесе, *M. microphthalma*, *C. quadrangula*, *F. major* и *B. quadridentatus* var. *melheni*. Значительное развитие получили *Hexarthra mira* (Hudson) и *Daphnia pulex* (De Geer). Всего в 2002 г. найдено 12 видов коловраток, 11 – ветвистоусых и

5 – веслоногих рачков. По биомассе зоопланктона Тагано-Казанцевский плес близок к Чиняихинскому. В 1977–1978 гг. средняя биомасса была 8,0 – 10,1 г/м<sup>3</sup>, в 1980 – 4,1, в 2001–2002 гг. – 5,5 г/м<sup>3</sup> (максимальная 17,8 г/м<sup>3</sup>).

**Ярковский плес** – один из наиболее освоенных участков оз. Чаны (минерализация 5,82–6,93 г/л). Зоопланктон заселяет в основном побережья и заливы плеса, а в пелагиали численность ветвистоусых ракообразных очень низкая. В 2001 г. из 16 видов зоопланктона найдено 8 – коловраток, 6 – ветвистоусых и 2 – веслоногих ракообразных. Доминировали по численности и биомассе *A. salinus*, *D. magna*, *D. brachyurum* и *M. microphthalma*. В 2002 г. обнаружено 17 видов коловраток (галофилы и эвригалинные формы), 10 – ветвистоусых рачков и 2 – веслоногих. В доминантный комплекс дополнительно вошли *D. pulex*, *Hexarthra fennica* (Levander), *C. quadrangula* и *B. quadridentatus* var. *melheni*. Биомасса зоопланктона на Ярковском плесе довольно высокая: 1977 г. – 12,2 г/м<sup>3</sup>, 1980 г. – 10,6, 2001 г. – 6,3 (максимальная – 23,6 г/м<sup>3</sup>).

**Юдинский плес** в настоящее время полностью отчленен от общей акватории и пересыхает. Плес труднодоступный и малоисследованный. К 2001 г. минерализация Юдинского плеса снизилась с 13–15 до 6 г/л, вследствие этого изменился видовой состав зоопланктона. В 1977 г. здесь обнаружены только три вида беспозвоночных: *A. salinus*, *M. microphthalma* и *H. fennica* [11]. В 2001 г. в пробах обнаружены *A. salinus*, *M. microphthalma* и *H. fennica*, *Ch. sphaericus*, *D. magna* и *B. quadridentatus* var. *melheni*. Средняя биомасса зоопланктона в 1977 г. была 1,95, в 2001 г. – 14,4 г/м<sup>3</sup> (максимальная – 17,5 г/м<sup>3</sup>).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Зоопланктон различных плесов оз. Чаны существенно различается как в видовом, так и в количественном отношении и зависит от их гидрохимических особенностей и морфометрии. Озеро в основном населяют представители мирного зоопланктона, хищники встречаются редко. Отмечены облигатные хищники – *B. longimanus*, *B. cederstromii*, *Apagis cylindrata* Sars, *Apagis longicaudata* Sars, *Leptodora kindtii* (Focke) и факультативные – *A. priodonta*, *Polyphemus pediculus* (Linne).

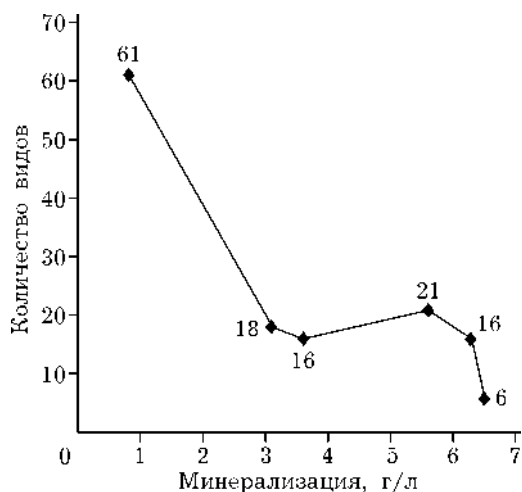


Рис. 1. Изменение числа видов зоопланктона с ростом минерализации.

Средняя и максимальная численность и биомасса основных групп зоопланктона по плесам приведены в табл. 2. Можно отметить, что видовой состав зоопланктона оз. Чаны за последние тридцать лет не претерпел заметных изменений, за исключением Юдинского плеса. Биомасса зоопланктона также остается примерно на одном уровне и зависит от водности года.

Таким образом, в оз. Чаны по мере увеличения солености происходит замещение пресноводного комплекса зоопланктона на солоновато-водный. Количество видов уменьшается с 71 в пресной до 28 в соленой воде (см. рис. 1, табл. 1). Общее падение видового разнообразия зоопланктона от устьевой области рек до Ярковского плеса составляет 74 % от максимального значения. При росте минерализации от 1 до 3 г/л число видов зоопланктона резко уменьшается; при дальнейшем увеличении минерализации с 3,5 до 5,5 г/л отмечается некоторое расширение видового спектра за счет появления солоновато-водных видов, не встречающихся на более опресненных участках; затем уменьшение числа видов происходит за счет выпадения пресноводных организмов. При этом биомасса зоопланктона не только не снижается, а даже заметно возрастает благодаря массовому развитию галобиев (численность *A. salinus* в отдельных точках достигала 227 200 экз./м<sup>3</sup>).

Из-за некоторого распреснения воды в целом по акватории, обусловленного дли-

тельными ливневыми дождями, летом 2002 г. произошло расселение *C. quadrangula*, *F. major*, *B. quadridentatus* var. *melheni*, *D. pulex* практически по всем исследованным плесам. На Ярковском и Тагано-Казанцевском плесах помимо типичных галофилов получили массовое развитие эвригалинные формы, которые обычно на этих участках отсутствуют или встречаются единично.

Мы провели статистическую обработку данных по минерализации и количественным показателям зоопланктона с помощью пакета компьютерных программ "STATISTICA", чтобы выявить ведущие гидрохимические факторы, влияющие на распределение зоопланктона по акватории озера. Выявлен ряд корреляционных зависимостей между количественными показателями различных групп зоопланктона и рядом гидрохимических параметров. Полученные коэффициенты корреляции приведены в табл. 3.

Количество видов (видовое разнообразие ВР) зоопланктона отрицательно коррелирует с жесткостью воды, с гидрокарбонатами, с ионами натрия, калия, магния, хлора. При этом отмечена положительная корреляция ВР с кальцием. Показана значимая отрицательная корреляционная связь ВР с биогенами: с нитратами, аммонийным азотом, сульфатами. Отмечена отрицательная корреляция ВР с рН и щелочностью воды. При снижении видового разнообразия отмечен рост численности и биомассы общего зоопланктона. Численность положительно коррелирует со щелочностью, с гидрокарбонатами и нитритами. А для биомассы выявлена значимая корреляция со щелочностью, с гидрокарбонатами, с концентрацией ионов хлора и магния, с ионами кальция корреляция биомассы общего зоопланктона отрицательна.

Разные группы зоопланктона по-разному реагируют на изменение гидрохимических показателей. Так, видовое разнообразие кладоцер снижается при увеличении рН и концентрации гидрокарбонатов, нитратов, ионов хлора и магния. Численность и биомасса ветвистоусых рачков также снижаются при увеличении солености воды. Достоверная отрицательная корреляция численности кладоцер отмечена с рН, с концентрацией гидрокарбонатов, нитратов, сульфатов, с ионами хлора и магния. Соответственно биомасса ветвисто-

## Коэффициенты корреляции количественных показателей различных групп зоопланктона с гидрохимическими параметрами

Химические компоненты	Sorexera			Cladocera			Rotatoria			Всего		
	Числен- ность	Биомасса	Число видов	Числен- ность	Биомасса	Число видов	Числен- ность	Биомасса	Число видов	Числен- ность	Биомасса	Число видов
Общая мине- рализация,												
г/л	0,30*	0,40*	-0,67*	-0,37*	-0,26*	-0,66*	-0,05	-0,44	-0,62*	0,16	0,25	-0,74*
Na <sup>+</sup> , мг/л	0,30*	0,40*	-0,68*	-0,37*	-0,26*	-0,67*	-0,03	-0,44*	-0,64*	0,16	0,24	-0,75*
K <sup>+</sup> , мг/л	0,51*	0,51*	-0,63*	-0,36*	-0,28*	-0,74*	-0,10	-0,42*	-0,64*	0,34	0,34	-0,77
pH	0,23	0,28*	-0,51*	-0,27*	-0,12	-0,61*	-0,06	-0,46*	-0,57*	0,12	0,19	-0,66*
Щелочность	0,50*	0,49*	-0,63*	-0,36*	-0,29*	-0,63*	0,05	-0,35*	-0,62*	0,36*	0,31*	-0,71*
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0,50*	0,49*	-0,63*	-0,36*	-0,29*	-0,63*	0,05	-0,35*	-0,62*	0,36*	0,31*	-0,71*
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	0,12	0,09	-0,17	-0,21	-0,18	-0,23	-0,13	-0,13	-0,13	-0,23	0,02	0,01
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0,45*	0,31*	0,00	-0,03	-0,13	-0,16	-0,17	-0,06	-0,10	0,36*	0,24	-0,12
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0,08	0,15	-0,59*	-0,36*	-0,25	-0,47*	0,11	-0,21	-0,41*	-0,00	0,04	-0,52
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	0,08	0,15	-0,52*	-0,33*	-0,29*	-0,40*	0,22	-0,31*	-0,52*	0,04	-0,05	-0,56*
Cl <sup>-</sup> , мг/л	0,37*	0,44*	-0,67*	-0,39*	-0,27*	-0,66*	-0,05	-0,44*	-0,63*	0,21	0,29*	-0,74*
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	0,14	0,06	0,19	-0,26*	0,20	-0,13	0,29*	0,20	0,05	-0,10	0,22	-0,22
Ca <sup>2+</sup> , мг/л	-0,29*	-0,37*	0,67*	0,18	0,00	0,66*	-0,01	0,52*	0,66*	-0,21	-0,32*	0,76*
Mg <sup>2+</sup> , мг/л	0,36*	0,44*	-0,67*	-0,37*	-0,27*	-0,68*	-0,05	-0,42*	-0,62*	0,21	0,27*	-0,75*
Жесткость, мг-экв./л	0,36*	0,44*	-0,66*	-0,38*	-0,29*	-0,67*	-0,06	-0,41*	-0,61*	-0,21	0,27*	-0,74*

\*Коэффициенты корреляции значимы при  $p < 0,05$ ,  $N = 62$ .



тоусых рачков отрицательно коррелирует с гидрокарбонатами, сульфатами, фосфатами, ионами хлора и магния. Отмечена положительная корреляция видового разнообразия кладоцер с кальцием.

Для численности коловраток достоверной корреляции с гидрохимическими показателями не выявлено, зато видовое разнообразие

и биомасса при повышении солености снижаются, как и у кладоцер. Для биомассы коловраток выявлена достоверная отрицательная корреляция с рН, гидрокарбонатами, сульфат-ионами, ионами хлора и магния и положительная корреляция с фосфатами и кальцием. Соответственно, отрицательная корреляция видового разнообразия коловраток

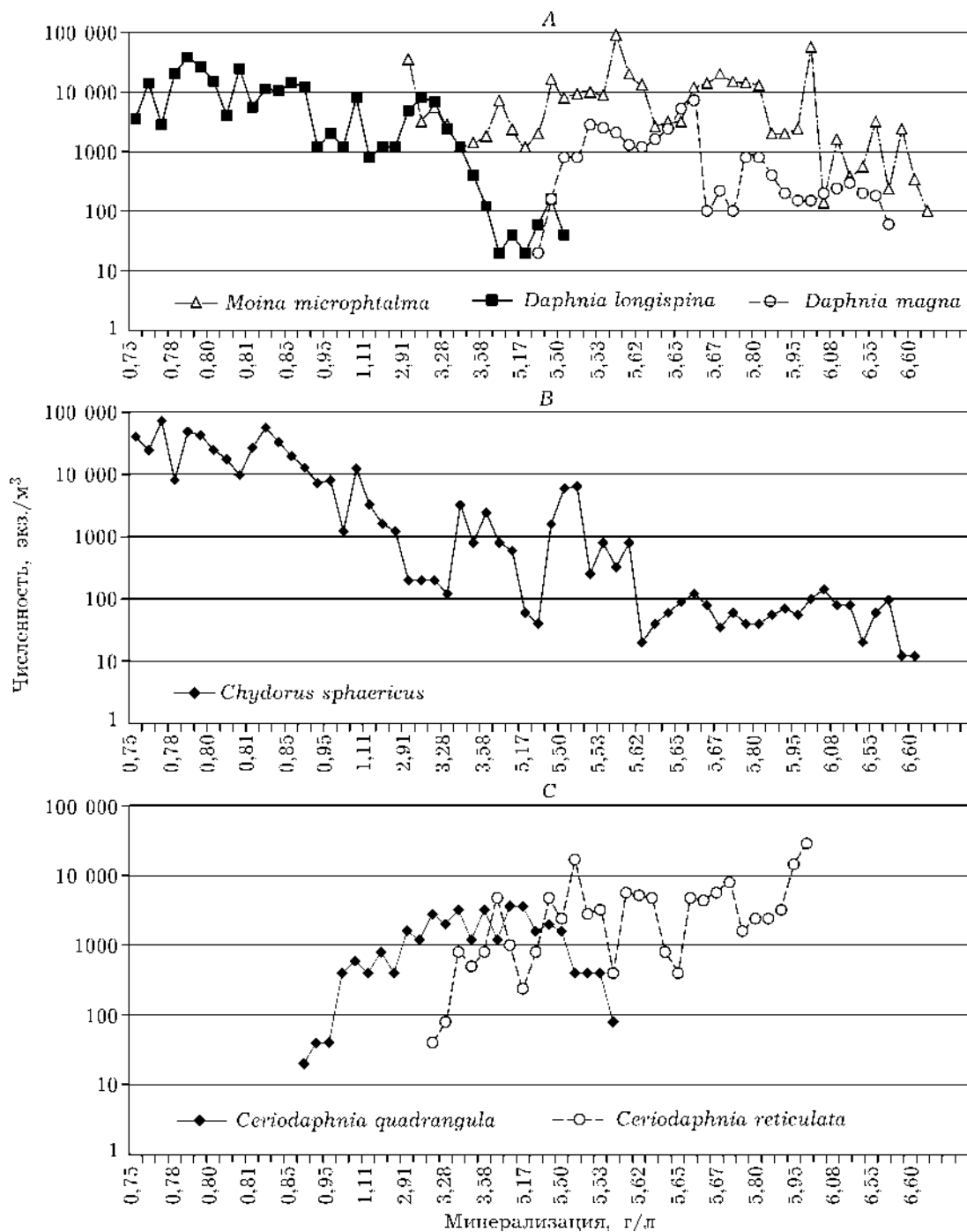


Рис. 2. Смена видового состава Cladocera по градиенту минерализации.

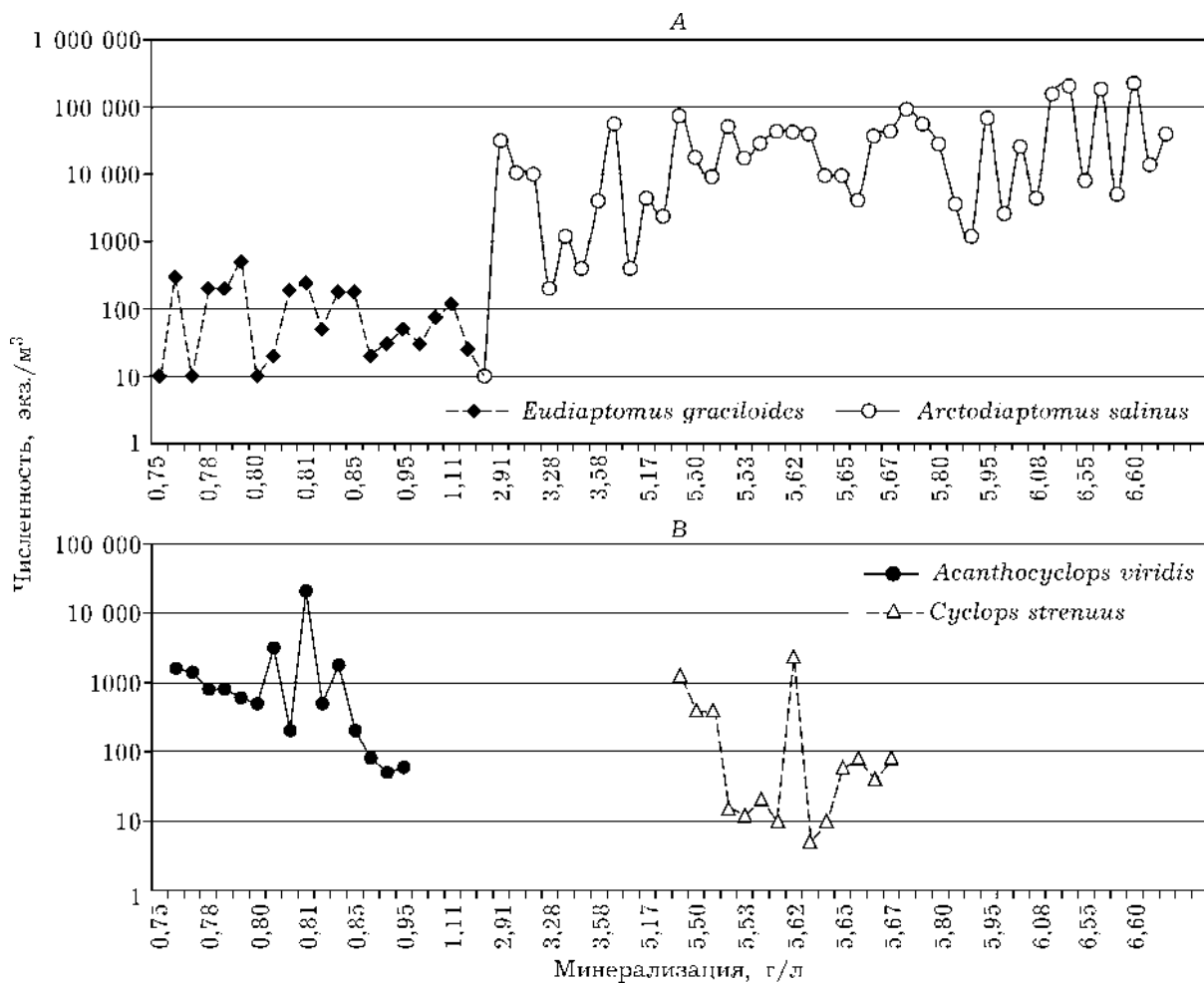


Рис. 3. Смена видового состава Соперода по градиенту минерализации.

выявлена с рН, гидрокарбонатами, нитратами, сульфатами, ионами хлора и магния и положительная корреляция с кальцием.

Наиболее интересны показатели корреляции, выявленные для копепод. При повышении солености их видовое разнообразие снижается, как у коловраток и клadoцер. Видовое разнообразие копепод отрицательно коррелирует с рН, концентрацией гидрокарбонатов, ионами нитратов, сульфатов, хлора и магния. При этом происходит рост численности и биомассы копепод за счет солоновато-водного вида *A. salinus*, который на Юдинском и Ярковском плесах обеспечивает основную биомассу зоопланктона в целом. Численность копепод положительно коррелирует с концентрацией гидрокарбонатов, нитритами, ионами хлора и магния и, соответственно, отрицательно – с кальцием. Для биомас-

сы копепод выявлена достоверная положительная корреляция с рН, гидрокарбонатами, нитритами, ионами хлора и магния и отрицательная – с кальцием.

Нами сделана попытка проанализировать распределение всех обнаруженных видов по градиенту солености.

*D. brachyurum* встречалась в 2001 г. в диапазоне солености 0,75–5,83 г/л, *L. kindtii* не отмечена при минерализации, превышающей 0,854 г/л. Характерная для пресных вод *D. longispina* при повышении минерализации замещается *M. microphthalma* (рис. 2, А), вместе с которой в диапазоне минерализации 5,40–6,56 г/л встречается *D. magna*. Для *Bosmina longirostris* (Müller) границы обнаружения оказались узкими: 0,81–3,41, что не позволяет ей распространиться далее Чиняихинского плеса и оз. Яркуль. Для *Ch.*

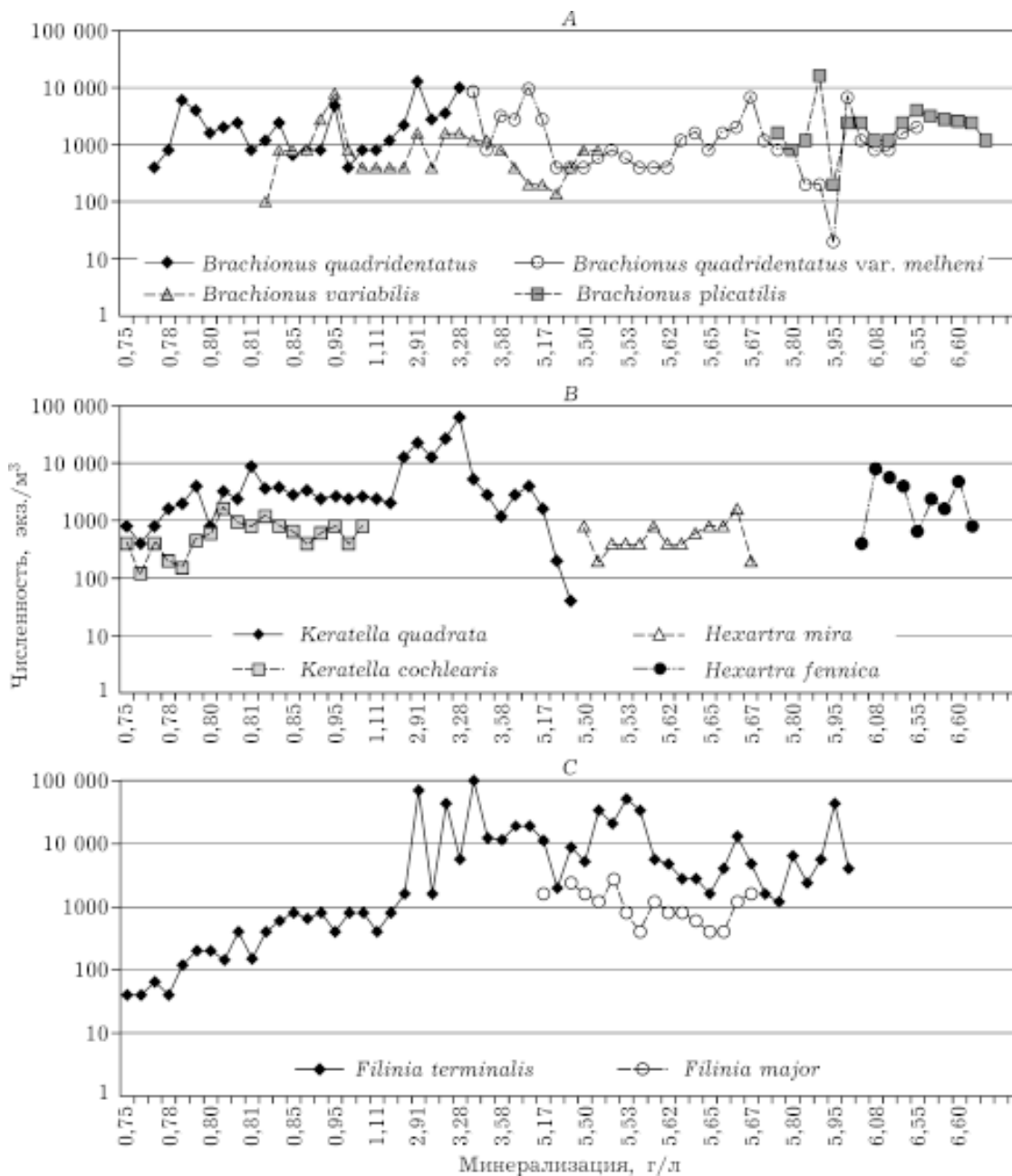


Рис. 4. Смена видового состава Rotatoria по градиенту минерализации.

*sphaericus* прослеживается снижение численности и биомассы при росте минерализации (рис. 2, B), однако он встречается на всех плесах, т.е. значения минерализации в оз. Чаны только на некоторых участках Ярковского плеса превышают критические для указанного вида границы. Два близких вида *S. quadrangula* и *S. reticulata* с ростом минерализации постепенно замещают друг друга (рис. 2, C).

*Mesocyclops oithonoides* не встречался при минерализации выше 1,11 г/л, и его распространение в связи с этим ограничено Малыми Чанами и Чиняихинским плесом (прилегающие к Мал. Чанам участки), тогда как *M. leuckarti* встречался в гораздо более широком диапазоне – от 0,78 до 3,28 г/л, т.е. вплоть до Тагано-Казанцевского плеса. Интересно проследить, как на градиенте минерализации пресноводный *Eudiaptomus*

*graciloides* замещается галофилом *A. salinus* (рис. 3, А), а вместо *Acanthocyclops viridis* в солоновато-водном комплексе встречается *C. strenuus* (рис. 3, В), приуроченный в оз. Чаны к весьма узкому диапазону солености (5,50–5,67 г/л).

Среди коловраток прослеживается смена видов р. *Brachionus* по мере роста минерализации (рис. 4, А): *Brachionus quadridentatus* (интервал минерализации 0,78–3,28 г/л) постепенно замещается видом *Brachionus variabilis* (0,81–5,52 г/л), затем появляется *B. quadridentatus* var. *melheni* (3,41–6,55 г/л) и, наконец, при самых высоких значениях солености 5,78–7,85 в составе зоопланктона отмечен *B. plicatilis*. Остальные виды р. *Brachionus* обитают в пресноводных участках Малых Чанов.

*Keratella cochlearis* var. *macranchantha* встречается в Малых Чанах и на Чиняихинском плесе при минерализации не выше 0,97 г/л, *K. quadrata* распространена гораздо шире, вплоть до Ярковского плеса, где встречается единично даже при минерализации 5,5 г/л (рис. 4, В). При более высокой концентрации солей р. *Keratella* исчезает из состава зоопланктона и появляется р. *Hexarthra*. В пределах солености 5,50–5,67 г/л создаются благоприятные условия для *H. mira*, а *H. fennica* встречается в зоопланктоне при солености 6,07–6,83 г/л.

*Filinia terminalis* распространена практически на всей акватории оз. Чаны, за исключением Юдинского плеса, однако значительной численности она достигает при минерализации выше 1,19 г/л. *F. major* не встречается в Малых Чанах и отмечена при минерализации 5,50–5,67 г/л (рис. 4, С).

*A. priodonta* придерживалась пресных и слабосоленых вод, достигала максимальной численности 5200 экз./м<sup>3</sup> при минерализации 0,95 г/л, но не обнаружена при концентрациях солей выше 3,41 г/л.

*Euchlanis dilatata* тоже обнаружен только в Малых Чанах и на Чиняихинском плесе при минерализации не выше 1,11 г/л.

Вероятно, что ограничения по распространению ряда видов, в частности *C. strenuus* и *B. longirostris*, определяются не общей минерализацией, а воздействием определенной группы ионов. Это предположение нуждается

в дальнейшем исследовании. Кроме того, выявлено, что для ряда видов критический уровень солености составил 5,5 г/л, т. к. приблизительно при указанной минерализации выпадают такие виды, как *B. variabilis*, *K. quadrata*, *D. longispina*, *C. quadrangula* и появляются *H. mira*, *F. major*, *C. strenuus*, *D. magna*, резко увеличивают свою численность *C. reticulata* и *M. microphtalma*.

Исключительно пресноводные виды зоопланктона, встреченные только в Малых Чанах, не рассматривались. Причина распространения целого ряда видов, которые встречены и при низких, и при высоких уровнях минерализации, например *Notholca acuminata* var. *acuminata*, *T. patina* var. *patina*, *Eucyclops serrulatus*, и при этом не обнаружены на плесах с промежуточными значениями солености, требует отдельного изучения. По-видимому, влияние минерализации в таком случае вторично и необходимо рассматривать температурные условия, глубины исследуемых участков, видовой состав фитопланктона и высшей водной растительности и т. д. То есть для выявления причин дискретного распространения ряда видов по акватории озера необходимо провести многофакторный анализ.

Авторы благодарят за помощь в сборе материала В. М. Савкина и Л. М. Киприянову, за обработку данных по минерализации оз. Чаны – С. Я. Двуреченскую.

Работы выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты конкурса инициативных проектов № 01-04-49893, 02-05-65028 и грант Федеральной программы «Ведущие научные школы» № 00-05-98542).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н. М. Иванов, Е. С. Макарецва, Пульсирующее озеро Чаны, Л., Наука, Ленингр. отд-ние, 1982, 260–272.
2. Л. С. Визер, *Экология*, 1989, 4, 86–88.
3. М. В. Тимофеева, *Экология озера Чаны*, Новосибирск, 1986.
4. И. А. Киселев, *Планктон морей и континентальных водоемов*, 1, Л., 1969.
5. Е. Ф. Мануйлова, *Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР*, М.-Л., 1964.
6. Л. А. Кутикова, *Коловратки фауны СССР (Rotatoria)*, Л., 1970.

7. Е. В. Боруцкий, Л. А. Степанова, М. С. Кос, Определитель Calanoida пресных вод СССР, СПб., 1991.
8. Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР, Л., 1977.
9. Е. В. Балущкина, Г. Г. Винберг, Общие основы изучения водных экосистем, Л., 1979, 169–172.
10. A. Ruttner-Kolisko, *Norw. J. Zool.*, 1976, 24, 419–456.
11. Л. С. Визер, Экология озера Чаны, Новосибирск, 1986, 105–115.
12. Э. П. Битюков, Развитие озерного рыбного хозяйства Сибири, Новосибирск, 1963, 23–28.

## **Influence of Mineralization on Zooplankton of the Lake Chany**

N. I. YERMOLAEVA, O. S. BURMISTROVA

The species diversity and quantitative characteristics of zooplankton of the lake Chany in 2001–2002 were studied. 76 species – 35 rotifers, 31 cladocera and 10 copepoda species - were detected. Comparison of zooplankton communities in lake sites of different mineralization degree shows that as the salinity in the lake Chany increases, the fresh water zooplankton complex becomes replaced by saliferous water complex. The number of species diminishes from 71 in fresh water to 28 in salted one. The biological diversity of zooplankton brusquely drops as mineralization increases from 1 to 3 g/l. As mineralization increases from 3,5 to 5,5 g/l, a certain expansion of species spectrum due to appearance of saliferous aquatic species that are not found in more freshened sites. Further diminution of the number of species takes place due to disappearance of fresh water organisms that are replaced by halobionts of smaller species diversity.