

МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

ЗООПЛАНКТОНА озера Хар-Ус, Дургунского водохранилища и реки Чонохарайх, Монголия

Описаны показатели зоопланктона разнотипных водных систем Западной Монголии при изменении температуры воды, в том числе и в Дургунском водохранилище на 2-м и 3-м годах его формирования.

Введение

Монголия относится к категории активно развивающихся стран, что требует больших расходов электроэнергии и, следовательно, поиска и/или создания ее новых источников. Кроме того, среди основных мер по снижению загрязнения, которые поддерживает Монголия, особое значение имеет расширение возможностей поставки энергии от возобновляемых источников: солнечных батарей и солнечного отопления, ветрогенераторов и ветроэлектростанций, а также гидроэлектростанций [1].

Известно, что строительство гидроэлектростанций обычно более капиталоемкое, чем тепловых, часто они более удалены от потребителей, а созданные водохранилища, как правило, занимают значительные территории суши, затоплявая ценные земли. Однако в мире продолжается активное строительство ГЭС, т.к. сток рек – возобновляемый источник энергии, их работа не сопровождается вредными выбросами в атмосферу, а себестоимость электроэнергии обычно ниже, чем на тепловых электростанциях.

В настоящее время в Монголии завершено строительство двух крупнейших для страны ГЭС. Дургунская электростанция мощностью 12 МВт построена на р. Чонохарайх в 2008 г. Высота плотины составляет 20 м, длина по гребню 252 м. Предполагается, что ее выработка составит ~ 38000 МВт/час электроэнергии в год, которая будет поставляться в провинции Баян Улги, Ховд и Увс для коммерческих и бытовых целей. Ожида-

А.В. Крылов*,

доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологии водных беспозвоночных, ФГБУН Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук

Б. Мендсайхен,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт геоэкологии АН МНР



емое сокращение выбросов CO_2 должно составить ~ 28800 т CO_2 в год благодаря замещению электроэнергии, которая иначе вырабатывалась бы на угольной электростанции [1].

Образование водохранилищ приводит к изменению климата прилегающих территорий, кардинальной трансформации биологического режима водотоков, что составляет особую проблему в условиях аридной зоны. Кроме того, изучение изменений биологического режима зарегулированных водотоков важно для понимания общих закономерностей формирования биологического режима крупных пресноводных экосистем на различных этапах их генезиса. Российскими гидробиологами наиболее подробно изучено формирование сообществ беспозвоночных водохранилищ рек Волга и Дон, тогда как доля работ по зоопланктону водохранилищ аридных территорий относительно мала. Кроме изменений гидрологического режима на состояние водных экосистем оказывает влияние изменение климата, в результате

* Адрес для корреспонденции: krylov@ibiw.yaroslavl.ru

которого наблюдается увеличение среднеголетних и среднесезонных температур воздуха и воды. В связи с этим важно оценить роль увеличения температуры воды в структурной перестройке биологических сообществ.

Цель работы – изучение структурной организации зоопланктона разнотипных водных объектов аридной зоны на территории Монголии в связи с изменением температуры воды и в ходе формирования экосистемы Дургунского водохранилища.

Материалы и методы исследования

Исследованные водные объекты представляют собой элементы одной системы. Оз. Хар-Ус расположено между горными цепями Алтая и Хангая на высоте 1157 м, является вторым по величине среди озер пустынь. Озеро имеет тектоническое происхождение. Наибольшая длина 72,2 км, ширина 25,8 км, самая глубокая часть 4,4 м, средняя глубина 2 м. Протяженность береговой линии 306,8 км, площадь водосбора 70450 км². Из оз. Хар-Ус вытекает р. (протока) Чонохарайх длиной ~ 50 км, в среднем течении которой создано Дургунское водохранилище. Исследования проводили в августе 2010 и 2011 гг. В литоральной зоне водоемов и в реке ведром собирали интегральные пробы, процеживая 100 л воды через газ с размером ячеек 64 мкм, на глубоководных участках использовали сеть Джели с размером ячеек 64 мкм и входным отверстием диа-

метром 12 см. Пробы фиксировали 4 %-ным формалином, камеральную обработку проводили по стандартной методике [2].

Различий уровня воды в водохранилище, его длины и ширины в 2010–2011 гг. не наблюдалось – максимальная глубина составляла 17 м, длина не превышала 4 км, ширина – 400 м. В 2011 г. по сравнению с 2010 г. наблюдалось незначительное увеличение прозрачности воды в оз. Хар-Ус и ее снижение в пелагиали Дургунского водохранилища (табл. 1). Кроме того, на всех исследованных участках значительно увеличивалась температура воды.

Результаты и их обсуждение

В составе зоопланктона исследованных водных объектов обнаружено 23 вида коловраток, 9 веслоногих и 18 ветвистых ракообразных (табл. 2). Несколько большим богатством видов в 2010 г. отличался зоопланктон оз. Хар-Ус, где зарегистрировано 28 таксонов (12 Rotifera, 6 Copepoda, 10 Cladocera), в то время как в водохранилище 25 (13 Rotifera, 2 Copepoda, 10 Cladocera), а в р. Чонохарайх 24 (12 Rotifera, 3 Copepoda, 9 Cladocera). В 2011 г. максимальное разнообразие беспозвоночных было отмечено в водохранилище – 31 вид (14 Rotifera, 5 Copepoda, 12 Cladocera) и в реке ниже плотины – 31 вид (17 Rotifera, 3 Copepoda, 11 Cladocera), а в оз. Хар-Ус зарегистрировано всего 23 таксона (9 Rotifera, 5 Copepoda, 9 Cladocera).

Таблица 1

Глубина (h), прозрачность (z), температура (T) и скорость течения (v) воды на исследованных участках оз. Хар-Ус, Дургунского водохранилища и р. Чонохарайх

Водный объект	Станция*	Координаты	Год	h, м	z, м	T, °C	v, м/с
Оз. Хар-Ус	1	N 48°00.700` E 92°23.009`	2010	0,5	0,3	21,1	0
			2011	0,5	0,4	26,3	0
	2		2010	2,0	0,3	19,7	0
			2011	2,5	0,4	25,0	0
Дургунское водохранилище	3	N 48°19.435` E 92°48.490`	2010	1,0	До дна	21,6	0
			2011	0,8	До дна	25,0	0
	4		2010	13,0	6,5	20,6	0
			2011	13,0	3,5	23,0	0
Р. Чонохарайх	5	N 48°20.162` E 92°49.110`	2010	0,4	До дна	19,7	0,30
			2011	0,4	До дна	25,3	0,25

Примечание. *Здесь, в табл. 2 и на рис. 1–2: 1 – участок литоральной зоны оз. Хар-Ус, 2 – центр оз. Хар-Ус, 3 – литоральная зона Дургунского водохранилища, 4 – пелагиаль Дургунского водохранилища, 5 – р. Чонохарайх в 0,7 км ниже плотины Дургунской ГЭС.

По коэффициенту трофности [3] в 2010 г. оз. Хар-Ус характеризовалось как эвтрофное, в 2011 г. зарегистрировано снижение величины коэффициента, причем в центре водоема до значения, соответствующего мезотрофным водам (рис. 1). Литоральная зона Дургунского водохранилища в 2010 г. относилась к эвтрофным, а в 2011 г. – гипертрофным водам, в то время как пелагиаль характеризовалась как мезотрофная, причем в 2011 г. величина коэффициента в литоральной зоне возрастала, а в пелагиали – снижалась. Участок р. Чонохарайх ниже плотины относился к эвтрофным при увеличении коэффициента в 2011 г.

Полученные результаты свидетельствуют об изменении структуры зоопланктона по продольному профилю исследованной системы, а также межгодовых различиях, что в разных водных объектах может быть связано с различными причинами. Однако основную роль, по-видимому, играют особенности метеорологических условий вегетационного периода.

Увеличение температуры воды вызывало такие изменения численности, биомассы и соотношения таксономических групп зоопланктона оз. Хар-Ус, какие обычно наблюдаются при эвтрофировании [4]. В частности, увеличивалась численность (в 9,1 раза в литоральной зоне и в 57,8 раза в центре водоема) (рис. 2 а) и биомасса (в 5,3 и 52,3 раза, соответственно) зоопланктона (рис. 2 г), возрастала доля Rotifera в общей численности (в 2,6 и 3,5 раза) (рис. 2 б) и биомассе (в 2,2 раза в центре водоема) (рис. 2 д) сообщества, а также доля Cladocera в общей биомассе (в 2,2 раза в литоральной зоне) (рис. 2 д). По численности в прибрежье в 2010 г. доминировали *Bipalpus hudsoni*, науплиусы и копепоиды Cусloroidea, в центральном участке – науплиусы и копепоиды Cусloroidea и *Diaphanosoma brachyurum*, в 2011 г. в литоральной зоне среди доминантов отмечен



Таблица 2

Список видов зоопланктона исследованных водных объектов в 2010/2011 гг.

Таксон	Станции				
	1	2	3	4	5
ТИП ROTIFERA					
Класс Eurotatoria					
Надотряд Pseudotrocha					
Отряд Saeptiramida					
Подотряд Ploesomida					
Семейство Synchaetidae					
<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)	+/+	-	-	-/+	-/+
<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin	+/+	+/-	+/+	-	+/+
Подотряд Notommatina					
Семейство Trichocercidae					
<i>Trichocerca</i> (s. str.) <i>capucina</i> (Wierzejski et Zacharias)	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
<i>T.</i> (s. str.) <i>pusilla</i> (Lauterborn)	-/+	-	+/+	+/+	+/+
Семейство Notommatidae					
<i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg)	+/-	-	-	-	-
Отряд Transversiramida					
Подотряд Eriphanina					
Семейство Lecanidae					
<i>Lecane</i> (<i>Monostyla</i>) <i>bullata</i> Gosse	-	-	+/-	+/+	+/+
<i>L.</i> (<i>M.</i>) <i>cornuta</i> (Müller)	-	-	-	-	-
<i>L.</i> (s. str.) <i>luna</i> (Müller)	-/+	+/-	-/+	-	+/+
<i>L.</i> (<i>M.</i>) <i>lunaris</i> (Ehrenberg)	-	-	+/-	-	-
Подотряд Brachionina					
Семейство Brachionidae					
<i>Brachionus angularis</i> Gosse	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
<i>B. quadridentatus brevispinus</i> Ehrenberg	+/-	+/-	-/+	-	-/+
<i>B. variabilis</i> Hempel	-	-	-/+	-	-
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	-	+/+	-	+/-	+/+
Семейство Euchlanidae					
<i>Euchlanis deflexa</i> Gosse	-/+	-	-	-	-
<i>E. dilatata</i> Ehrenberg	+/-	+/-	+/+	-	+/-
<i>E. lucksiana</i> Hauer	+/+	-	+/-	-	+/-
<i>E. meneta</i> Myers	+/-	-	+/+	-	-/+
Подотряд Mytilinina					
Семейство Trichotriidae					
<i>Trichotria pocillum</i> Müller	-	-	-	-	-/+
Семейство Mytilinidae					
<i>Mytilina ventralis</i> Ehrenberg	-	-	+/-	-	-/+

Таксон	Станции				
	1	2	3	4	5
Отряд Saltiramida					
Семейство Asplanchnidae					
<i>Asplanchna herricki</i> Guerne	–	–	+/-	+/+	+/+
<i>A. priodonta</i> Gosse	–	–	-/+	-/+	-/+
Надотряд Gnesiotrocha					
Отряд Protoramida					
Подотряд Flosculariina					
Семейство Filiniidae					
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg)	+/+	+/-	+/+	+/+	+/+
Семейство Testudinellidae					
<i>Testudinella patina</i> (Herm.)	–	–	-/+	+/-	+/+
Семейство Floscalariidae					
<i>Lacinularia ismailoviensis</i> Poggenpol	–	–	-/+	–	-/+
ТИП ARTHROPODA					
Класс Crustacea					
Отряд Copepoda					
Подотряд Calaniformes					
Семейство Diaptomidae					
<i>Eudiaptomus graciloides</i> Lilljeborg	–	+/+	+/+	+/+	+/+
<i>E. coeruleus</i> Fischer	–	–	+/+	+/+	+/+
<i>Acanthodiaptomus denticornis</i> Wierzejski	–	+/-	–	–	–
Подотряд Cyclopiformes					
Семейство Cyclopidae					
<i>Eucyclops macruroides</i> (Lilljeborg)	-/+	–	–	–	–
<i>E. serrulatus</i> (Fischer)	+/-	+/+	-/+	–	+/+
<i>Cyclops strenuus</i> (Fischer)	–	+/+	–	–	–
<i>C. vicinus</i> Uljanin	–	+/-	–	–	–
<i>Thermocyclops crassus</i> (Fischer)	–	–	–	-/+	–
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)	-/+	+/+	–	-/+	–
Надотряд Cladocera					
Отряд Stenopoda					
Семейство Sididae					
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> Lievin	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Отряд Аномопода					
Семейство Daphniidae					
<i>Ceriodaphnia dubia</i> Richard	–	+/+	+/+	+/-	+/+
<i>C. reticulata</i> (Jurine)	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+
<i>C. pulchella</i> Sars	+/+	+/+	–	–	–

Brachionus angularis, в центральной – *B. angularis*, копеподиты Cyclopoida и *Diaphanosoma brachyurum*. По биомассе массового развития в 2010 г. в прибрежье достигали *Bipalpus hudsoni*, науплиусы и копеподиты Cyclopoida, *Ceriodaphnia pulchella*, в центре – науплиусы и копеподиты Cyclopoida и *Diaphanosoma brachyurum*, в 2011 г. в прибрежье доминировали *Brachionus angularis*, копеподиты Cyclopoida и *Diaphanosoma brachyurum*, в центре – копеподиты Cyclopoida и *Diaphanosoma brachyurum*. Следовательно, среди доминирующих видов в 2011 г. появилась коловратка *Brachionus angularis* – вид-индикатор высокотрофных и α-мезосапробных вод.

В литоральной зоне Дургунского водохранилища в 2011 г. по сравнению с данными, полученными в 2010 г., численность и биомасса зоопланктона снижались (в 1,4 и 1,8 раза) (рис. 2 а, з), незначительно возрастала доля Rotifera и Cladocera в общей численности и биомассе сообщества (соответственно, в 1,2 и 1,1 раза, в 2,1 и 1,1 раза) (рис. 2 б, д). Не зарегистрировано изменений состава доминирующих видов – в оба года по численности массового развития достигали ювенильные Cyclopoida и *Trichocerca* (s. str.) sarusina, по биомассе – науплиусы и копеподиты Cyclopoida, *Ceriodaphnia pulchella*, *Diaphanosoma brachyurum* и *Chydorus sphaericus*. Такая ситуация может быть связана с тем, что литоральная зона водохранилища очень слабо выражена, в большей степени она расположена над затопленными скальными породами, и запасы разлагающегося органического вещества в 2011 г. были полностью использованы, благодаря чему количественные показатели сообщества снижались. Об этом свидетельствует и сравнение с зоопланктоном литоральной зоны «материнского» водоема (оз. Хар-Ус). В 2010 г. численность и биомасса зоопланктона в прибрежье водохранилища были выше, чем в Хар-Ус-нур

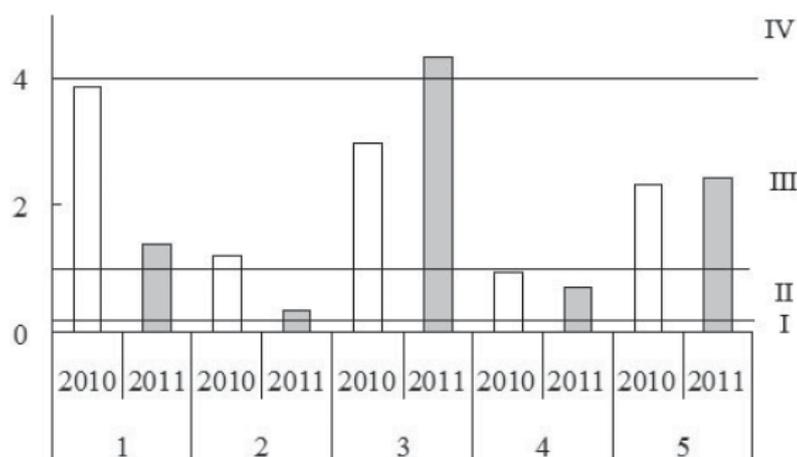


Таблица 2 (Окончание)

Список видов зоопланктона исследованных водных объектов в 2010/2011 гг.

Таксон	Станции				
	1	2	3	4	5
<i>Daphnia (D.) galeata</i> G.O. Sars	-/+	+/+	-	+/+	-
<i>D. (D.) hyalina</i> Leydig.	-/+	+/+	-	+/+	-
<i>D. (D.) galeata</i> × <i>D. (D.) hyalina</i>	-/+	+/+	-	+/+	-
Семейство Bosminidae					
<i>Bosmina (Bosmina) longirostris</i> (O.F. Müller)	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Семейство Chydoridae					
Подсемейство Aloninae					
<i>Acroperus harpae</i> (Baird)	-	-	-/+	-	+/+
<i>Alona quadrangularis</i> (Müller)	+/-	+/-	+/-	+/+	+/+
<i>A. rectangula</i> Sars	-	-	+/+	+/+	+/+
<i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer)	-	-	-	-	-/+
Подсемейство Chydorinae					
<i>Alonella nana</i> (Baird)	-	-	-/+	-	+/-
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller)	+/-	+/-	+/+	+/+	+/+
<i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine)	-	-	-	-	-/+
<i>P. laevis</i> Sars	-	-	-/+	-	-
<i>P. trigonellus</i> (O.F. Müller)	-	-	-	-	-/+
Отряд Harplopoda					
Семейство Leptodoridae					
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	-	+/+	-	+/-	+/-
Число видов: Rotifera	10/9	8/3	12/13	8/8	12/17
Copepoda	S	6/4	2/3	2/4	3/3
Cladocera	5/7	7/9	6/9	10/9	9/11
Всего зоопланктона	16/18	21/16	20/25	20/21	24/31

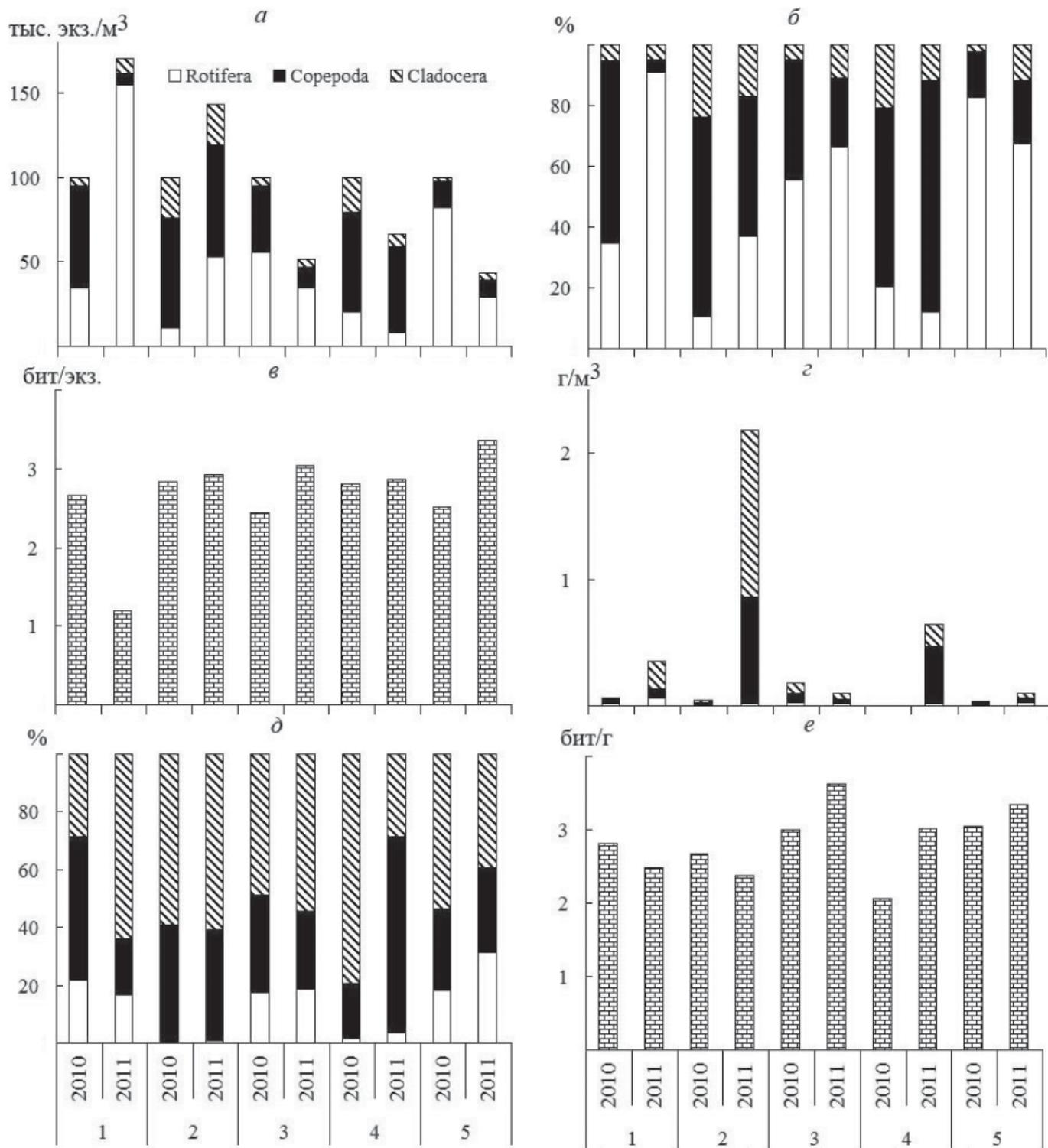
Примечание: «+» – вид обнаружен; «-» – вид не обнаружен.



(соответственно, в 3,8 и 2,7 раза), была больше доля Rotifera в общей численности и доля Cladocera в общей биомассе, т.е., проявлялись признаки сообщества, развивающегося в условиях эвтрофирования [4]. В 2011 г. численность и биомасса зоопланктона в литоральной зоне водохранилища, напротив, были меньше, чем в озере (в 3,3 и 3,5 раз), была меньше доля Rotifera в общей численности зоопланктона, больше доля Copepoda в общей численности и биомассе, выше величины индексов Шеннона-Уивера (рис. 2 в, е). В пелагиали водохранилища в 2011 г., по сравнению с данными 2010 г., значительно возросла численность (в 296 раз) и биомасса (в 670 раз) зоопланктона (рис. 2 а, з). Однако в отличие от ситуации в оз. Хар-Ус, здесь не регистрировалось увеличения относительного обилия коловраток и ветвистоусых ракообразных, а повышалась доля веслоногих ракообразных (в 1,3 раза в общей численности и в 3,6 раза в общей биомассе) (рис. 2 б, д). Несколько изменился и состав доминирующих видов: в 2010 г. по численности доминировали науплиусы и копеподиты Cyclopoida, *Diaphanosoma brachyurum* и *Ceriodaphnia dubia*, в 2011 г. – ювенильные циклопы, в 2010 г. по биомассе массового развития достигали ювенильные Cyclopoida и *Diaphanosoma brachyurum*, в 2011 г. – копеподиты Cyclopoida, *Eudiaptomus graciloides*, *Ceriodaphnia reticulata* и *Diaphanosoma brachyurum*. Все это, наряду с возрастанием величин индекса Шеннона-Уивера (рис. 2 в, е), свидетельствует о том, что увеличение температуры воды способствовало улучшению ранее бедной кормовой базы беспозвоночных в большой по объему водной массе пелагиали водохранилища.

Температурные условия, а также увеличение численности и биомассы зоопланктона в водохранилище играли роль в изменении зоопланктона в р. Чонохарайх ниже плотины. В частности, в 2011 г. увеличивалась численность и биомасса зоопланктона (соответственно, в 1,7 и в 2,5 раз) (рис. 2 а, з), возрастала доля коловраток в общей биомассе (в 1,7 раза) и ветвистоусых ракообразных в общей численности сообщества (в 4,5 раза) (рис. 2 б, з). В 2010 г. по численности в реке доминировали *Brachionus angularis*, *Testudinella patina* и науплиусы Cyclopoida, в 2011 г. – *Trichocerca* (s. str.) *capucina*, *Brachionus angularis* и науплиусы веслоногих ракообраз-

← Рис. 1. Коэффициент трофности исследованных водоемов. I – олиготрофные воды, II – мезотрофные воды, III – эвтрофные воды, IV – гипертрофные воды.



↑ **Рис. 2.** Показатели зоопланктона исследованных водных объектов: численность (тыс. экз./м³) (а), доля таксономических групп в общей численности (%) (б), индекс Шеннона-Уивера, рассчитанный по численности (бит/экз.) (в), биомасса (г/м³) (г), доля таксономических групп в общей биомассе (%) (д), индекс Шеннона-Уивера, рассчитанный по биомассе (бит/г) (е).

ных, по биомассе в 2010 г. – ювенильные *Copepoda*, *Ceriodaphnia pulchella* и *Chydorus sphaericus*, в 2011 г. – *Asplanchna priodonta*, ювенильные циклопы и *Bosmina (Bosmina) longirostris*. Таким образом, в оба периода изучения среди доминантов отмечались виды, характерные для высокотрофных вод. Необходимо отметить, что влияние водохранилища на участок реки ниже плотины фиксируется и при анализе данных, полученных на этой реке до зарегулирования. В 2007 г. в толще воды здесь было обнаружено 11 видов беспозвоночных, численность и биомасса которых составляли, соответственно, 1,1 тыс. экз./м³ и 0,003 г/м³, а среди доминантов отмечены *Lecane luna*, *Euchlanis dilatata* и науплиусы Cyclopoida.

Заключение

Увеличение температуры воды в природном водоеме вызывало изменения показателей зоопланктона, аналогичные наблюдаемым при антропогенном эвтрофировании. Зоопланктон техногенного водоема, возникшего в результате зарегулирования речного стока, в течение трех лет существования находился в стадии формирования. В литоральной зоне, лишенной до затопления почвенного и растительного покрова, уже через три года после зарегулирования наблюдалось обеднение численно-

Ключевые слова:

озеро,
водохранилище,
река,
зоопланктон,
температура воды

сти и биомассы зоопланктона даже при высокой температуре воды. Увеличение температуры воды в пелагиали водохранилища способствовало улучшению кормовой базы беспозвоночных, что вызывало повышение численности и биомассы зоопланктона за счет веслоногих ракообразных. Создание на реке зарегулированного участка и биологический сток из водохранилища способствовали изменению зоопланктона участка водотока ниже плотины в сторону увеличения разнообразия видов, их численности и биомассы.

Литература

1. Углублённый обзор политики и программ в области энергоэффективности: Монголия. Секретариат Энергетической Хартии. Boulevard de la Woluwe, 56. B-1200. Belgium: Brussels, 2011. 132 с.
2. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
3. Мяэметс А.Х. Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. С. 54–64.
4. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. С.-Пб.: Наука. 1996. 189 с.

A.V. Krylov, B. Mendsaikhen

INTERANNUAL CHANGES OF ZOOPLANKTON IN THE LAKE KHAR-US, THE DURGUNSKOE RESERVOIR AND THE CHONOHARAYH RIVER, MONGOLIA

Zooplankton characteristics in different types of water systems of West Mongolia were described during temperature changes of water.

Key words: lake, reservoir, river, zooplankton, water temperature