

ЗООПЛАНКТОН, ЗООБЕНТОС,  
ЗООПЕРИФИТОН

УДК 574.583(285.2):591(517.3)

ЗООПЛАНКТОН ПУЛЬСИРУЮЩИХ ОЗЕР ОРОГ И ТАЦЫН-ЦАГАН  
(ЗАПАДНАЯ МОНГОЛИЯ) В НАЧАЛЕ ПЕРИОДА СТАБИЛИЗАЦИИ  
УРОВЕННОГО РЕЖИМА

© 2020 г. А. В. Крылов<sup>а, \*</sup>, Б. Мэндсайхан<sup>б</sup>, Ч. Аюушсурэн<sup>с</sup>, А. И. Цветков<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук,  
пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия

<sup>б</sup>Институт географии и геоэкологии Академии наук Монголии, Улан-Батор, Монголия

<sup>с</sup>Институт общей и экспериментальной биологии Академии наук Монголии, Улан-Батор, Монголия

\*e-mail: krylov@ibiw.ru

Поступила в редакцию 13.02.2018 г.

После доработки 24.12.2018 г.

Принята к публикации 06.02.2019 г.

Проанализированы межгодовые изменения зоопланктона периодически пересыхающих озер в начале периода стабилизации их уровенного режима при значительных колебаниях количества атмосферных осадков, температуры воздуха и минерализации воды. Показано, что ведущую роль в изменении структуры зоопланктона играет количество атмосферных осадков, увеличение которого может опосредованно обогащать кормовую базу беспозвоночных. В этих условиях ряд структурных характеристик зоопланктона свидетельствует об эвтрофировании озер, интенсивность которого зависит от площади водоема и связи с питающей рекой. Аналогичные изменения зоопланктона отмечены в годы с повышенной температурой воздуха. При резком возрастании минерализации воды обнаружено увеличение количественных показателей зоопланктона за счет *Soropoda*.

**Ключевые слова:** зоопланктон, минерализация воды, количество атмосферных осадков, Долина Озер (Западная Монголия)

**DOI:** 10.31857/S0320965220030109

## ВВЕДЕНИЕ

Сокращение водности, уменьшение уровня и увеличение минерализации воды — ожидаемые последствия трансформации экосистем континентальных водоемов в условиях глобального изменения климата. Наиболее ярко они будут проявляться в аридной зоне, где, впрочем, в той или иной степени наблюдались и ранее. К числу таких территорий относится Долина Озер (Западная Монголия) — межгорное понижение в Центральной Азии, разделяющее горы Хангая и Гобийского Алтая, где преобладают песчаные и каменистые равнины, встречаются солончаки и такыры с барханами. В Долине Озер отмечены периодические изменения уровня поверхностных и грунтовых вод, которые определяют чередование разного состояния озерных котловин. В сухой период озера полностью пересыхают, в переходный заполняются лишь летом и исчезают к осени, во влажный период они стабильно заполнены водой. Яркий пример таких водоемов — озера Орог (45°04.040' с.ш., 100°36.411' в.д.) и Тацын-Цаган (45°10.431' с.ш., 101°28.592' в.д.), для которых ранее были выделены сухой (3–6 лет), переходный

(2–4 года) и влажный (10–30 лет) периоды (Лимнология..., 2014; Dgebuadze, 1995). Высота расположения оз. Орог 1217 м над у. м., максимальная площадь 140 км<sup>2</sup> (в 2013–2016 гг. ~92–98 км<sup>2</sup>, в 2017 г. 107.3 км<sup>2</sup>, максимальная глубина 4.5 м. В озеро впадает р. Туин-Гол. В многоводные годы вода в нем пресная, в маловодные — солоноватая. Высота расположения оз. Тацын-Цаган 1248 м над уровнем моря, его площадь в 2014–2017 гг. была ~5–7 км<sup>2</sup>, в озеро впадает р. Тацын.

Период исследований озер пришелся на начало стабилизации уровенного режима водоемов — котловины стали заполняться водой, не пересыхали к осени, что свидетельствовало о наступлении влажного периода их многолетней динамики (Прокин, Жаворонкова, 2015). В его начале наблюдались межгодовые вариации электропроводности воды, а также значительные колебания поверхностного стока и температуры воздуха.

Цель работы — исследовать структуру зоопланктона озер Орог и Тацын-Цаган в начале периода стабилизации уровня воды, характеризующегося межгодовыми колебаниями минерализа-

**Таблица 1.** Количество атмосферных осадков и температура воздуха в районах исследованных озер

Год	Количество осадков, мм	Средняя температура воздуха, °С					
		апрель—август	апрель	май	июнь	июль	август
Сомон Богд							
2013	61.2	7.4	16.2	20.6	22.2	22.2	17.7
2014	74.8	9.8	14.6	19.5	22.9	20.7	17.5
2015	66.6	8.9	14.7	19.1	22.8	22.9	17.7
2016	108.0	9.9	14.0	19.2	23.6	21.3	17.6
2017	39.1	9.9	16.5	23.5	26.2	21.6	19.5
Сомон Барун-Баян-Улан							
2014	93.4	6.5	15.7	19.0	22.8	20.5	17.2
2015	83.7	9.4	13.7	18.8	22.0	22.3	17.1
2016	116.4	8.4	13.9	18.7	23.4	21.2	17.1
2017	52.8	9.4	13.6	23.0	25.7	20.8	17.3

ции воды, температуры воздуха и количества атмосферных осадков.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для работы послужили пробы зоопланктона, собранные в оз. Орог в августе 2013–2017 гг. и в оз. Тацын-Цаган в августе 2014–2017 гг. Изучались сообщества открытого мелководья, зарослей воздушно-водных макрофитов и центра водоемов. На глубинах >1 м пробы собирали сетью Джеди (диаметр входного отверстия 12 см, планктонный газ с размером ячеек 64 мкм), на глубинах <1 м – ведром, процеживая 50–100 л воды через газ с размером ячеек 64 мкм. Пробы фиксировали 4%-ным формалином, камеральную обработку проводили по стандартной методике (Методика изучения..., 1975). Параллельно с отбором проб измеряли глубину, прозрачность воды диском Секки, pH, температуру и электропроводность воды зондом “YSI ProPlus”. Сведения о количестве атмосферных осадков и температуре воздуха получали для оз. Орог по данным метеорологического поста в сомоне Богд (44°40'11" с.ш., 102°10'28" в.д.) и для оз. Тацын-Цаган – в Барун-Баян-Улан (45°10'42" с.ш., 101°25'9" в.д.).

Статистический анализ включал проверку нормальности распределения по критерию Колмогорова–Смирнова, множественные сравнения групповых средних проводили по критерию наименьшей значимой разности (LSD-test), определяли коэффициент корреляции Пирсона ( $p < 0.05$ ).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Озеро Орог.** Наибольшее количество атмосферных осадков наблюдалось в 2016 г., наименьшее – в 2017 г. (табл. 1). Максимальная температура

воздуха в мае отмечена в 2013 и 2017 гг., в июне и июле – в 2017 г., в августе – в 2015 г., а средняя за период с апреля по август – в 2017 г. (табл. 1). В 2013 г. зарегистрированы минимальные глубины, в последующие годы они почти не изменялись, а в 2017 г. заметно возросли (табл. 2), что сопровождалось затоплением участков суши и увеличением степени зарастания макрофитами с 5 до 10%. Прозрачность воды отличалась низкими значениями, которые ежегодно немного возрастали (табл. 2). Наибольшая температура воды зафиксирована в 2014 г., наименьшая – в 2015 г., при этом ежегодно (за исключением 2015 г.) в центре водоема она была ниже, чем в прибрежье. Электропроводность воды максимального значения достигла в 2015 г., в дальнейшем снижалась. Как правило, в прибрежье она была больше, чем в центре водоема.

В 2013 г. в составе зоопланктона обнаружено 16 видов (12 – Rotifera, 2 – Copepoda, 2 – Cladocera), в 2014 г. – 14 (8, 2, 4 соответственно), в 2015 г. – 8 (5, 2, 1), в 2016 г. – 13 (8, 3, 2), в 2017 г. – 19 (13, 2, 4). Максимальное число видов в пробе зарегистрировано в прибрежье, причем, среди зарослей макрофитов было больше Cladocera (табл. 3). В среднем за весь период изучения в центре водоема по сравнению с открытым прибрежьем было меньше число видов Rotifera ( $p = 0.027$ ) и общее количество видов ( $p = 0.025$ ). Среди зарослей растений и в центре водоема максимальное количество видов в пробе отмечено в 2013 г., минимальное – в 2015 г., в открытом прибрежье – в 2017 и 2015 гг. соответственно. Полученные коэффициенты корреляции показали, что при увеличении электропроводности воды уменьшались общее число видов ( $r = -0.60$ ) и число видов коловраток ( $r = -0.56$ ), при увеличении среднемесячной температуры воздуха в апреле–августе – число видов Copepoda ( $r = -0.53$ ). В целом для озера максимальное ко-

**Таблица 2.** Некоторые характеристики различных зон исследованных озер

Показатели	Год	оз. Орог	оз. Тацын-Цаган
		открытое побережье/заросли макрофитов/центр озера	
Глубина, м	2013	0.3/0.5/0.5	—
	2014	0.5/0.8/1.3	0.3/0.5/0.8
	2015	0.3/0.5/1.0	0.2
	2016	0.8/0.8/1.2	0.1/0.3/0.4
	2017	0.5/0.8/1.3	0.1/0.2/0.3
Прозрачность, м	2013	0.05/—/0.05	—
	2014	0.10	0.10
	2015	0.30	0.05
	2016	0.50	0.05
	2017	0.50	0.05
Температура, °С	2013	21.9/—/18.8	—
	2014	22.1/21.1/21.0	18.2/18.9/18.2
	2015	17.9/18.1/18.8	14.7/14.5/14.4
	2016	21.5/21.2/20.3	21.2/20.5/19.6
	2017	21.9/21.9/21.0	28.4/28.4/28.2
Электропроводность, мкСм/см	2013	1924/—/1861	—
	2014	2503/2383/2314	1613/1614/1592
	2015	5500/5550/5880	1710/1687/1735
	2016	3700/3710/3550	3270/2840/2850
	2017	2097/3000/2095	15006/15000/15000
рН	2013	8.94/8.92/8.94	—
	2014	8.92/8.90/8.94	8.82/8.85/8.85
	2015	8.96	9.01
	2016	8.64	8.44/8.40/8.42
	2017	8.46	8.87

Примечание. Здесь и в табл. 3 значение без косой черты — одинаково для трех зон исследования, “—” — данные отсутствуют.

личество видов коловраток (8.3) и общее число видов (12) зарегистрированы при наибольшей температуре воздуха в 2017 г.

В 2013 и 2014 гг. по численности лидировал зоопланктон центра озера, в 2015 и 2016 гг. — зарослей растений и лишь в 2017 г. — открытого побережья (рис. 1а). Получены коэффициенты корреляции между общей численностью зоопланктона, Rotifera, Сорепода и количеством осадков в период с апреля по август ( $r = 0.74, 0.59$  и  $0.74$  соответственно). Кроме того, общая численность зоопланктона и коловраток коррелировали с электропроводностью воды ( $r = 0.65$  и  $0.80$  соответственно). Максимальная численность зоопланктона в годы, характеризующиеся наибольшим количеством атмосферных осадков (2016 г. — 556 тыс. экз./м<sup>3</sup>) и низкой электропроводностью воды (2015 г. — 399 тыс. экз./м<sup>3</sup>). Численность зоопланктона в 2015 и 2016 гг. была больше значений в 2013 г. — 130.4 тыс. экз./м<sup>3</sup> ( $p = 0.010$  и  $0.000$

соответственно), 2014 г. — 91.5 ( $p = 0.005$  и  $0.000$ ) и 2017 г. — 81.2 ( $p = 0.004$  и  $0.000$ ). В эти же годы отмечена максимальная численность Rotifera (2015 г. — 221.8, 2016 г. — 220.8 тыс. экз./м<sup>3</sup>), которая отличалась от величин в 2013 г. — 65.9 тыс. экз./м<sup>3</sup> ( $p = 0.002$  и  $0.002$  соответственно), 2014 г. — 33.8 ( $p = 0.005$  и  $0.000$ ) и 2017 г. — 59.9 ( $p = 0.002$  и  $0.002$ ). Кроме того, в 2016 г. обнаружена максимальная численность Сорепода — 334.4 тыс. экз./м<sup>3</sup>, она превышала значения в 2013 г. — 63.9 тыс. экз./м<sup>3</sup> ( $p = 0.004$ ), 2014 г. — 57.6 ( $p = 0.003$ ) и 2017 г. — 20.6 ( $p = 0.002$ ).

Основой численности зоопланктона в побережье и центре водоема были Rotifera и Сорепода, а среди зарослей макрофитов ежегодно преобладали Сорепода, за исключением 2017 г., когда преобладали Rotifera (рис. 1б). В среднем за время изучения доля Cladocera в центре водоема была ниже, чем в побережье ( $p = 0.032$ ). Получены коэффициенты корреляции между долями Rotifera,

**Таблица 3.** Количество видов зоопланктона в различных зонах исследованных озер

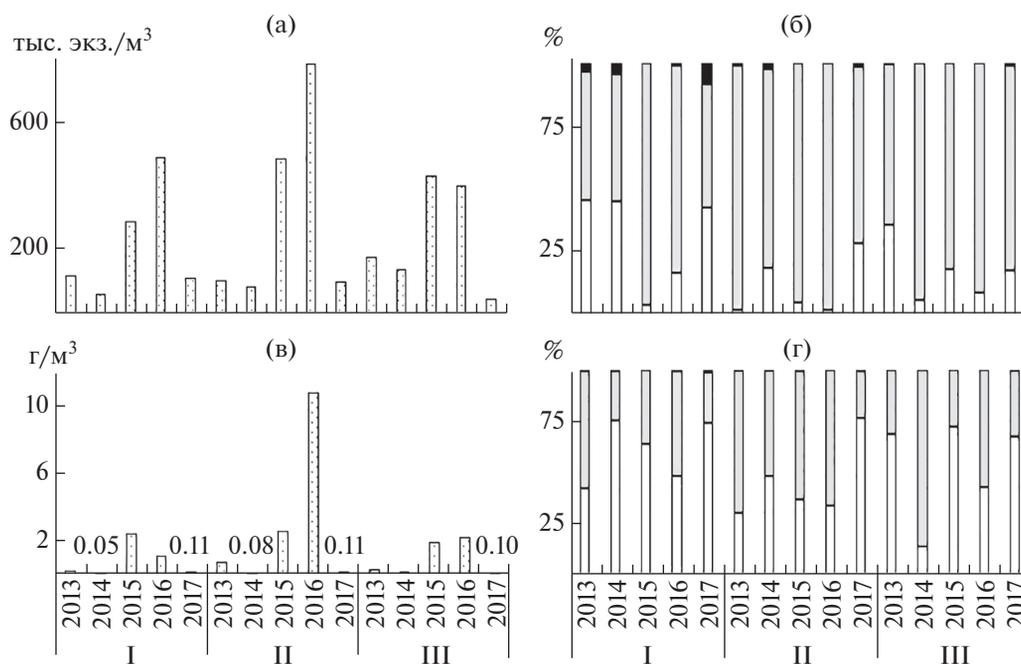
Озеро	Год	Rotifera	Copepoda	Cladocera	Всего
		открытое побережье/заросли макрофитов/центр озера			
Орог	2013	10/6/7	2	1/2/1	13/10/10
	2014	6/7/4	2	3/3/0	11/12/6
	2015	5/5/3	2	0/1/0	7/8/5
	2016	8/5/5	2	1	11/8/8
	2017	11/8/6	2/1/2	4/1/1	17/10/9
Тацын-Цаган	2014	4/3/6	0	2/2/3	6/5/9
	2015	3/2/2	1	0/0/1	4/3/4
	2016	1/3/3	0/1/1	3	4/7/7
	2017	1/1/0	6/4/4	1/0/1	8/5/5

Copepoda и средней температурой воздуха в апреле–августе ( $r = 0.53$  и  $-0.54$  соответственно).

В открытом побережье по численности доминировали науплиусы Cyclopoida (2013–2017 гг.), *Filinia longiseta* (Ehrenberg) (2014–2017 гг.), *Brachionus angularis* Gosse (2014, 2017 гг.), *Squatinella longispinata* (Tatem) (2017 г.), *Polyarthra remata* Skorikov (2017 г.); среди зарослей тростника – *Filinia longiseta* (2013, 2014, 2016, 2017 гг.), *Brachionus angularis* (2013, 2017 гг.), *Epiphanes brachionus* (Ehrenberg) (2017 г.), науплиусы Cyclopoida (2013–2017 гг.), *Eudiaptomus graciloides* Lilljeborg (2016 г.); в центре озера – *Filinia longiseta*

(Ehrenberg) (2013–2016 гг.), *Brachionus angularis* Gosse (2013 г.), *Squatinella longispinata* (2017 г.), науплиусы Cyclopoida (2013–2017 гг.), копепоиды *Eudiaptomus* (2015 г.).

По биомассе лидировал зоопланктон в зарослях макрофитов, лишь в 2014 г. – в центре водоема, а в 2017 г. – она была одинаковой в открытом побережье и в зарослях растений (рис. 1в). Максимальные значения в открытом побережье отмечены в 2015 г., среди макрофитов и в центре – в 2016 г. В целом для озера общая биомасса зоопланктона и биомасса Copepoda положительно коррелировали с количеством атмосферных осад-



**Рис. 1.** Численность (а) и доли таксономических групп в общей численности (б), биомасса (в) и доли таксономических групп в общей биомассе (г) зоопланктона оз. Орог. I – открытое побережье, II – заросли макрофитов, III – центр водоема. □ – Rotifera, ▨ – Copepoda, ■ – Cladocera.

ков ( $r = 0.56, 0.55$  соответственно), биомасса Rotifera – с электропроводностью воды ( $r = 0.68$ ). Максимальная биомасса зоопланктона ( $4.64 \text{ г/м}^3$ ) обнаружена при наибольшем количестве осадков в 2016 г., она превышала значения в 2014 г. ( $0.10 \text{ г/м}^3, p = 0.041$ ) и 2017 г. ( $0.11 \text{ г/м}^3, p = 0.041$ ). Формирование максимальной биомассы зоопланктона в 2016 г. происходило за счет Soropoda ( $4.46 \text{ г/м}^3$ ), биомасса которых была больше, чем в 2014 г. ( $0.087 \text{ г/м}^3, p = 0.048$ ) и 2017 г. ( $0.071 \text{ г/м}^3, p = 0.047$ ). Наибольшая биомасса Rotifera зарегистрирована в 2015 г. ( $0.178 \text{ г/м}^3$ ) и 2016 г. ( $0.166 \text{ г/м}^3$ ), она превышала таковую в 2014 г. ( $0.015 \text{ г/м}^3, p = 0.013, 0.019$  соответственно) и 2017 г. ( $0.031 \text{ г/м}^3, p = 0.023$  и  $0.033$ ).

Основу биомассы составляли Soropoda, однако, наибольшая их доля чаще всего наблюдалась среди зарослей макрофитов (рис. 1г). В среднем за время изучения доля Cladocera в центре водоема была ниже, чем в прибрежье ( $p = 0.029$ ).

В открытом прибрежье по биомассе доминировали науплиусы Cyclopoida (2013, 2015–2016 гг.), *Filinia longiseta* (2014–2015 гг.), *Asplanchna brightwelli* Gosse (2014, 2017 гг.), *Eudiaptomus graciloides* (2016 г.), науплиусы Cyclopoida (2017 г.). Среди зарослей тростника преобладали науплиусы Cyclopoida (2013–2015 гг.), *Asplanchna brightwelli* (2013 г.), *Filinia longiseta* (2014 г.), *Epiphanes brachionus* (2017 г.), *Eudiaptomus graciloides* (2014–2017 гг.). Среди доминирующих по биомассе видов в центре озера отмечены науплиусы Cyclopoida (2013, 2014, 2016, 2017 гг.), *Eudiaptomus graciloides* (2013–2017 гг.) и *Asplanchna brightwelli* (2013, 2015 гг.).

**Озеро Тацын-Цаган.** Наибольшее количество атмосферных осадков зарегистрировано в 2016 г., наименьшее – в 2017 г. (табл. 1). Максимальная температура воздуха в апреле отмечена в 2015 и 2017 гг., в мае – в 2014 г., в июне и июле – в 2017 г., однако средняя за период апрель–август температура воздуха почти не различалась (табл. 1). Минимальная глубина озера зарегистрирована на третий (2016 г.) и четвертый (2017 г.) годы стабилизации уровня, а максимальная – в первый (2014 г.) (табл. 2). Вода озера характеризовалась крайне низкой прозрачностью, причем, наименьшие ее значения обнаружены в 2016 и 2017 гг. Минимальная температура воды отмечена в 2015 г., максимальная – в 2017 г. В период изучения наблюдалось повышение электропроводности воды, которая в 2017 г. резко ( $\geq 9$  раз) возросла и достигла рекордной величины. Выявлен отрицательный коэффициент корреляции электропроводности воды с количеством атмосферных осадков ( $r = -0.98$ ).

В 2014 г. в составе зоопланктона обнаружено 6 видов Rotifera и 3 вида Cladocera; в 2015 г. количество видов Rotifera снизилось до трех, Cladocera – до одного, но отмечен 1 вид Soropoda. В 2016 г. количество видов Rotifera осталось прежним, до трех возросло богатство Cladocera; в 2017 г. зарегистрировано два вида Rotifera, один вид Cladocera,

до шести увеличилось количество видов Soropoda. Максимальное число видов в пробе в 2014 и 2016 гг. отмечено в центре водоема, в 2015 г. – среди зарослей и в центре озера, в 2017 г. – в открытом прибрежье (табл. 3). Получены коэффициенты корреляции числа видов Rotifera ( $r = -0.68$ ), числа видов Soropoda ( $r = 0.94$ ) с электропроводностью воды, а также с количеством атмосферных осадков ( $r = 0.66$  и  $-0.95$  соответственно). С осадками было связано и количество видов Cladocera ( $r = 0.76$ ). Число видов коловраток (4.3), отмеченное при минимальной электропроводности воды в 2014 г., превышало таковое в 2015 г. ( $2.3, p = 0.046$ ), 2016 г. ( $2.3, p = 0.046$ ) и 2017 г. ( $0.7, p = 0.002$ ). Число видов Soropoda (4.6), зарегистрированное при максимальной электропроводности и минимальном количестве осадков в 2017 г., было больше, чем в 2014 г. ( $0, p = 0.000$ ), 2015 г. ( $1, p = 0.000$ ) и 2016 г. ( $0.7, p = 0.000$ ). Максимальное число видов Cladocera обнаружено в 2014 г. (2.3) и 2016 г. (3.0), которые характеризовались наибольшим количеством осадков, они превышали значения в 2015 г. ( $0.3, p = 0.001$  и  $0.000$  соответственно) и 2017 г. ( $0.7, p = 0.004$  и  $0.001$ ).

Максимальные численность и биомасса зоопланктона в 2014 г. зарегистрированы среди зарослей макрофитов, в последующие два года – в центральной части, в 2017 г. по численности доминировал зоопланктон открытого прибрежья, по биомассе – центра озера (рис. 2а, 2в). В целом для водоема получены коэффициенты корреляции общей численности зоопланктона и численности коловраток с температурой воздуха в августе ( $r = 0.73$  и  $0.80$  соответственно), численность Soropoda была связана с количеством осадков ( $r = -0.80$ ) и электропроводностью воды ( $r = 0.77$ ). Максимальные общая численность зоопланктона и численность коловраток зарегистрированы при наибольшей температуре воздуха в августе 2015 г. ( $1223.7$  и  $1114$  тыс. экз./м<sup>3</sup> соответственно), которые были выше, чем в 2014 г. ( $294.7$  ( $p = 0.012$ ) и  $33.4$  тыс. экз./м<sup>3</sup> ( $p = 0.001$ )), 2016 г. ( $236.3$  ( $p = 0.009$ ) и  $42.6$  тыс. экз./м<sup>3</sup> ( $p = 0.001$ )) и 2017 г. ( $393.9$  ( $p = 0.021$ ) и  $0.61$  тыс. экз./м<sup>3</sup> ( $p = 0.001$ )). Наибольшая плотность Soropoda обнаружена при минимальном количестве осадков и максимальной электропроводности воды в 2017 г. ( $392.9$  тыс. экз./м<sup>3</sup>) и она отличалась от величин в 2014 г., когда в составе зоопланктона веслоногие ракообразные не были обнаружены, в 2015 г. ( $108$  тыс. экз./м<sup>3</sup>,  $p = 0.035$ ) и 2016 г. ( $12$  тыс. экз./м<sup>3</sup>,  $p = 0.010$ ). Получены коэффициенты корреляции общей биомассы зоопланктона, биомассы Soropoda и Cladocera с количеством осадков ( $r = 0.60, -0.63$  и  $0.63$  соответственно), однако статистически значимых межгодовых различий этих показателей не выявлено.

Основой численности и биомассы в 2014 и 2016 гг. были Cladocera; в 2015 г. по численности преобладали Rotifera, по биомассе в центре озера и в за-

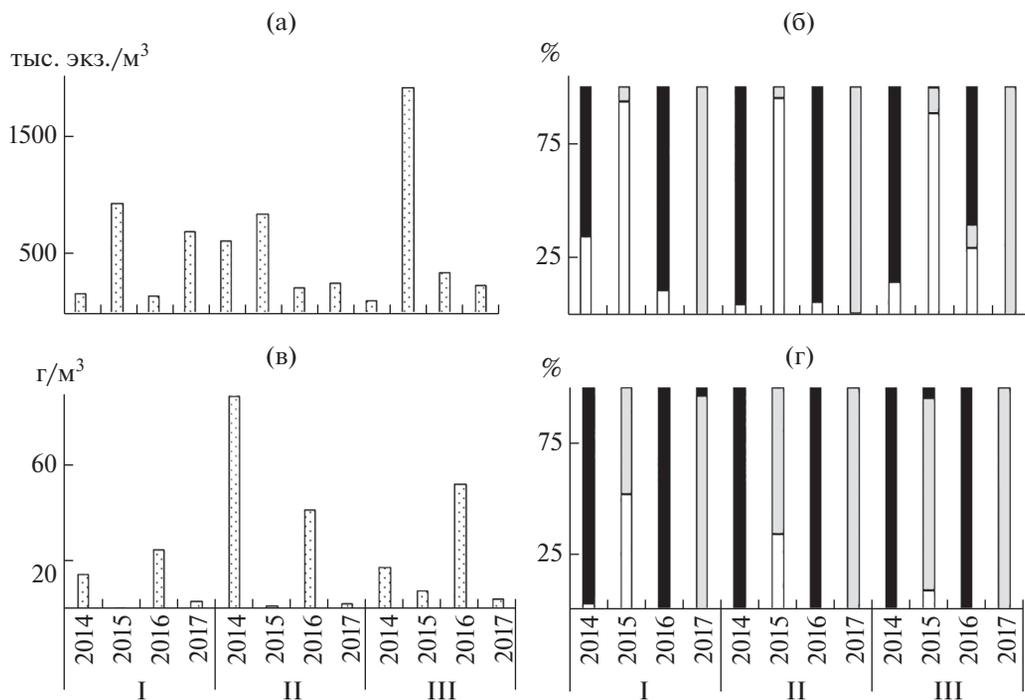


Рис. 2. Численность (а) и доли таксономических групп в общей численности (б), биомасса (в) и доли таксономических групп в общей биомассе (г) зоопланктона оз. Тацын. Обозначения, как на рис. 1.

рослях макрофитов – Сорерода, в открытом прибрежье – Rotifera; в 2017 г. по численности и биомассе во всех исследованных зонах водоема доминировали Сорерода (рис. 2б, 2г). В целом для озера доли Сорерода в общей численности и биомассе коррелировали с электропроводностью воды (соответственно  $r = 0.99$  и  $0.73$ ) и количеством осадков ( $r = -0.86$  и  $-0.88$ ), а доли Cladocera – только с количеством осадков ( $r = 0.78$  и  $0.80$ ). Доли Сорерода в общей численности и биомассе наибольших значений достигали в 2017 г. – 99.7 и 98.7% соответственно, превышая таковые, зарегистрированные в предыдущие годы (0–7.7 и 0–66.8%). Максимальные доли Cladocera в общей численности и биомассе отмечены в годы с максимальным количеством осадков – 2014 г. (82.2 и 99.1% соответственно) и 2016 г. (81.4 и 99.2%), они были больше, чем в 2015 г. (0.9% ( $p = 0.000$ ) и 1.6% ( $p = 0.000$ )) и 2017 г. (0.1% ( $p = 0.000$ ) и 1.3% ( $p = 0.000$ )).

По численности в открытом прибрежье доминировали *Daphnia similis* Claus (2014, 2016 гг.), *D. triquetra* G.O. Sars (2016 г.), *Moina brachiata* (Jurine) (2014, 2016 гг.), *Hexarthra fennica* (Levander) (2014 г.), *Brachionus quadridentatus* Hermann (2015 г.), *Filinia longiseta* (2015 г.), *Asplanchna brightwelli* (2016 г.), науплиусы Cyclopoidea (2017 г.); в зарослях макрофитов – *Daphnia similis* (2014 г.), *Moina brachiata* (2014 г.), *Brachionus quadridentatus* (2015 г.); в центре водоема – *Daphnia similis* (2014, 2016 гг.), *Moina brachiata* (2014, 2016 гг.), *Brachionus quadridentatus* (2015 г.), *Filinia longiseta* (2015 г.),

*Hexarthra fennica* (2016 г.), копеподиты *Eudiaptomus* (2015 г.), науплиусы Cyclopoidea (2017 г.).

По биомассе в открытом прибрежье доминировали *Daphnia similis* (2014, 2016 гг.), *D. triquetra* (2016 г.), *Moina brachiata* (2014, 2016 гг.), *Brachionus quadridentatus* (2015 г.), *Filinia longiseta* (2015 г.), науплиусы и копеподиты Calanoida (2015 г.), науплиусы Cyclopoidea (2017 г.), *Eudiaptomus vulgaris* Schmail (2017 г.), *Diacyclops bicuspidatus* (Claus) (2017 г.), *Eucyclops serrulatus* (Fischer) (2017 г.), *Cyclops strenuus* (Fischer) (2017 г.), в зарослях макрофитов – *Daphnia similis* (2014, 2016 гг.), *Moina brachiata* (2014, 2016 гг.), копеподиты *Eudiaptomus* (2015 г.), *Eudiaptomus vulgaris* (2017 г.), *Eucyclops serrulatus* (2017 г.), *Megacyclops viridis* (Jurine), в центре – *Daphnia similis* (2014, 2016 гг.), копеподиты *Eudiaptomus* (2015 г.), *E. vulgaris* (2017 г.), *Moina brachiata* (2016 г.).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты показали, что в оз. Орог наибольшее количество видов зоопланктеров характерно для открытого прибрежья, а в оз. Тацын-Цаган – для центра водоема. По численности и биомассе в оз. Орог доминировали сообщества зарослей макрофитов, в оз. Тацын-Цаган – центра и зарослей растений соответственно. Зоопланктон оз. Орог отличался от такового оз. Тацын-Цаган большим числом видов (в среднем в 1.7 раза), меньшими численностью и биомассой (в 2.9 и 106.0 раз соответственно), большей долей

Rotifera в общей численности и биомассе (в 105.5 и 732.3 раз) и значительно меньшей долей Cladocera (в 183.4 и 72.5 раз).

Выявлено значительное межгодовое варьирование показателей зоопланктона, которое могло быть связано с изменениями ряда характеристик среды. Исследования сообществ гидробионтов озер, в том числе и аридных территорий, показали, что одним из ведущих факторов, вызывающих изменения их структуры, выступает минерализация воды. Во все периоды озера по величине электропроводности воды относились к водоемам с повышенной минерализацией — солоноватым, однако в оз. Орог она варьировала в пределах значений, характерных для β-мезогалинных водоемов, в оз. Тацын-Цаган — от β-мезогалинных до α-мезогалинных. В подавляющем большинстве работ продемонстрировано снижение количества видов зоопланктеров при повышении минерализации воды (Ануфриева, 2010; Афонина, Итигилова, 2015; Ермолаева, Бурмистрова, 2005; Крупа, 2012; Крупа и др., 2013; Comin, Alonso, 1988; Doyle, 1990; Geddes et al., 1981; Williams, 1998). Действительно, в оз. Орог в 2015 г. при ее повышении до 3.6–3.8 г/л сокращалось количество видов Rotifera и Cladocera, однако какой-либо смены видового состава организмов за счет появления галобрионтов, как отмечено в ряде соленых озер (Ануфриева, 2010; Афонина, Итигилова, 2015; Ермолаева, Бурмистрова, 2005; Крупа, 2012; Крупа и др., 2013; Comin, Alonso, 1988; Doyle, 1990; Geddes et al., 1981; Williams, 1998), не обнаружено. В оз. Тацын-Цаган при значительном (в ≥4.5 раза) увеличении минерализации в 2017 г. количество обнаруженных видов, напротив, увеличилось за счет Сорепода, среди которых не зарегистрировано галобрионтов. По-видимому, виды, обитающие в периодически пересыхающих озерах, имеют высокую степень толерантности по отношению к минерализации воды и способны переживать ее резкие изменения.

Численность и биомасса зоопланктона также характеризовались высокой вариабельностью и неустойчивостью. При повышении минерализации воды в оз. Орог за счет Rotifera и Сорепода увеличивались численность и биомасса сообществ, что наиболее ярко проявлялось в открытом побережье и в зарослях макрофитов. Следует отметить, что среди растений в этот период до максимальных величин возрастали численность и биомасса Cladocera. В оз. Тацын-Цаган при значительном повышении минерализации воды увеличивалась общая численность зоопланктона в открытом побережье и в зарослях растений, во всех зонах водоема заметно возрастала плотность и биомасса Сорепода за счет ювенильных и взрослых особей *Eudiaptomus vulgaris*. Одновременно заметно сокращалась биомасса Rotifera и Cladocera, а за счет последних — и общая биомасса зоопланктона. Следовательно, в водоемах при увеличении минерализации возрастали количествен-

ные характеристики веслоногих ракообразных. Между их численностью, долей в общей численности, а также между общей биомассой зоопланктона и минерализацией воды получены положительные корреляционные связи.

Чаще всего изменения минерализации воды связывают с количеством осадков. В оз. Орог максимальная электропроводность воды отмечена на фоне снижения количества осадков в 2015 г., но и при минимальном их количестве в 2017 г. она уменьшалась. При этом увеличивались глубина и площадь водоема, что, по-видимому, связано с повышением объема грунтовых вод за счет осадков в 2016 г. В оз. Тацын-Цаган выявлена отрицательная корреляция электропроводности воды с количеством атмосферных осадков, но это лишь из-за ее значительного увеличения на фоне сокращения осадков в 2017 г. Однако и при повышении количества осадков в 2016 г. наблюдалось увеличение электропроводности по сравнению с данными 2015 г. Очевидно, для более объективного выявления причин изменения минерализации требуется больший временной ряд наблюдений, а также учет еще ряда факторов (например, уровня грунтовых вод, интенсивности солнечной инсоляции, солевого состава почв, образующихся в период высыхания, и пр.).

Эти факты, равно как и отсутствие галобрионтов в составе зоопланктона и среди доминантов, а также увеличение количества видов при повышении минерализации в оз. Тацын-Цаган указывают на то, что основную роль в формировании зоопланктона могли играть иные факторы.

К сожалению, перечень рассматриваемых характеристик среды крайне ограничен, преобладают факторы со сложным опосредованным влиянием на зоопланктон.

Среди них, безусловно, определенную роль играет температурный режим. По-видимому, в условиях резко континентального климата Монголии со значительными суточными перепадами температуры в мелководных озерах измерение температуры воды в момент отбора проб имеет меньший смысл, чем данные по температуре воздуха в течение вегетационного периода. При ее увеличении повышались количественные характеристики Rotifera и сокращались Сорепода, т.е. наблюдалась интенсификация эвтрофирования, что характерно для большинства водоемов в годы с высокими температурами воды (Копылов и др., 2012; Крылов и др., 2010; Лазарева и др., 2012; Volotov et al., 2014; Krylov et al., 2011).

Кроме того, на наш взгляд, большую роль играло поступление органических и биогенных веществ с водосбора, что определяется количеством атмосферных осадков и опосредованно обеспечивает обогащение кормовой базы беспозвоночных (Даценко и др., 2017). В оз. Орог с атмосферными осадками положительно были связаны численность и биомасса зоопланктона, Сорепода, плотность Rotifera. В оз. Тацын-Цаган при увели-

чении количества осадков возрастало количество видов Rotifera и Cladocera, общая биомасса, сокращались количество видов Copepoda, их плотность, биомасса и доля в общей численности и биомассе.

Следовательно, увеличение количества осадков в оз. Орог стимулировало количественное развитие зоопланктона за счет всех таксономических групп беспозвоночных, а в оз. Тацын-Цаган изменялось соотношение ракообразных за счет сокращения представленности Copepoda и увеличения Cladocera, что наблюдается при эвтрофировании водоемов (Андроникова, 1996). Разность изменений зоопланктона в изученных озерах мы связываем с соотношением биогенных элементов в самом водоеме и поступлением их с водосбора. Ранее в водоемах Казахстана (Крупа, 2012; Крупа и др., 2013) выявлено, что, если количество накопленных в озере биогенных веществ меньше поступающих с водосбора, то между уровнем воды в озерах и количественными характеристиками сообществ наблюдается прямая зависимость. Учитывая, что исследованные нами озера находятся в начале периода стабилизации уровня режима, можно предположить, что количество биогенных и органических веществ, накопленных в них, уступает внешним поступлениям, которые опосредованно стимулируют количественную представленность беспозвоночных. При этом в меньшем по площади и изначально более трофном оз. Тацын-Цаган дополнительное поступление веществ с водосбора приводит к более выраженному эвтрофированию.

Уровненный режим водоемов не всегда определяется количеством атмосферных осадков, что обнаружено в 2017 г. в оз. Орог, увеличение глубины и площади которого происходило на фоне их сокращения. В этот период отмечено снижение количественных характеристик зоопланктона, возможно, связанное с эффектом разбавления вод озера грунтовыми водами и водами ледников, с низкой концентрацией органических и биогенных веществ. В разных зонах озера разбавление происходило неравномерно: по сравнению с предыдущим годом в наибольшей степени численность и биомасса сокращались в центре – в 9.8 и 22.4 раза соответственно, в то время как в открытом побережье – в 4.5 и 9.6 раз. Очевидно, причиной этого было затопление части суши с развитой травянистой растительностью, которая разлагаясь, поставляла дополнительное количество органических и биогенных веществ.

Кроме того, нужно иметь в виду, что смена таксономических групп планктонных ракообразных в оз. Тацын-Цаган могла определяться временем его существования и связью с рекой. Во время отбора проб нами не зарегистрировано контакта вод р. Тацын с озером. В первый год основу зоопланктона составляли Cladocera, эфиппии которых могли остаться в период пересыхания и стать основой формирования сообществ

при начальном заполнении ложа водой. В этот год с января по май (в период, обеспечивающий запас воды в половодье) отмечено максимальное количество осадков – 34.2 мм, что могло способствовать активному течению реки и проникновению ее вод в озеро. В 2015 и 2016 гг. количество осадков в зимне-весенний период было значительно меньше (6.6 и 11.1 мм соответственно), в результате чего речные воды не доходили до водоема и не поставляли Copepoda, преобладание которых характерно для водотоков (Krylov et al., 2011). В 2017 г. количество атмосферных осадков в этот период возросло до 22 мм, что могло вновь обеспечить проникновение речных вод в озеро. Благодаря этому увеличился видовой состав веслоногих ракообразных, которые составляли основу численности и биомассы сообщества. Аналогичное явление мы наблюдали в оз. Орог (Krylov et al., 2011). Таким образом, несмотря на резкие межгодовые изменения минерализации воды пульсирующих озер в начале периода стабилизации их уровня режима, основную роль в формировании зоопланктона опосредованно играло количество атмосферных осадков, от которых зависит внешнее поступление биогенных и органических веществ с водосбора, а также связь с впадающими реками.

**Выводы.** Исследованные озера характеризуются крайне изменчивой минерализацией вод и структурными показателями беспозвоночных планктона. Ведущую роль в изменении структуры зоопланктона играет количество атмосферных осадков, увеличение которых способно опосредованно обеспечить обогащение кормовой базы беспозвоночных. Ряд характеристик зоопланктона в этих условиях свидетельствует об эвтрофировании водоемов, интенсивность которого зависит от их площади и связи с впадающей рекой. Изменения минерализации и глубины исследованных озер не связаны с количеством атмосферных осадков. При резком повышении минерализации воды в составе зоопланктона возрастает количество Copepoda, среди доминирующих видов не отмечено галобионтов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Сбор первичного материала осуществлен в рамках программы работ Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции Российской академии наук и Академии наук Монголии, обработка и анализ – в рамках государственного задания (№ АААА-А18-118012690106-7).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андроникова И.Н. 1996. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. Санкт-Петербург: Наука.
- Ануфриева Т.Н. 2010. Зоопланктон некоторых пресных и соленых озер Сибири // Автореф. дис. ... на соис-

- кание ученой степени кандидата биологических наук. Красноярск.
- Афонина Е.Ю., Итигилова М.Ц. 2015. Динамика зоопланктона соленых озер Юго-Восточного Забайкалья в разные климатические периоды // Вестн. Бурятск. гос. ун-та. № 4. С. 104.
- Даценко Ю.С., Пуклаков В.В., Эдельштейн К.К. 2017. Анализ влияния абиотических факторов на развитие фитопланктона в малопроточном стратифицированном водохранилище // Тр. Карельск. науч. центра РАН. № 10. С. 73.
- Ермолаева Н.И., Бурмистрова О.С. 2005. Влияние минерализации на зоопланктон озера Чаны // Сибирский экологический журнал. № 2. С. 235.
- Копылов А.И., Лазарева В.И., Минеева Н.М. и др. 2012. Влияние аномально высокой температуры воды на развитие планктонного сообщества водохранилищ Средней Волги летом 2010 г. // Доклады академии наук. Т. 442. № 1. С. 133.
- Крупа Е.Г. 2012. Зоопланктон лимнических и лотических экосистем Казахстана. Структура, закономерности формирования. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing.
- Крупа Е.Г., Цой В.Н., Лопарева Т.А. и др. 2013. Многолетняя динамика гидробионтов озера Балхаш и ее связь с факторами среды // Вестн. Астраханского гос. тех. ун-та. Серия: Рыб. хозяйство. № 2. С. 85.
- Лазарева В.И., Минеева Н.М., Жданова С.М. 2012. Пространственное распределение планктона в водохранилищах Верхней и Средней Волги в годы с различными термическими условиями // Поволжск. экол. журн. № 4. С. 399.
- Лимнология и палеолимнология Монголии // Биологические ресурсы и природные условия Монголии: Труды Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ. 2014. Т. 60. Москва: Издат. дом "Типография Россельхозакадемии".
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. 1975. Москва: Наука.
- Прокин А.А., Жаворонкова О.Д. 2015. Водные макробеспозвоночные озер Орог и Тацын-Цаган (Западная Монголия) в начале периода стабилизации уровня режима // Экосистемы Центральной Азии в современных условиях социально-экономического развития: Матер. Междунар. конф. Т. 2. Улан-Батор. С. 90.
- Bolotov S.E., Romanenko A.V., Tszvetkov A.I et al. 2014. Bacterio- and zooplankton in the outfall of a tributary of a flatland water reservoir during a period of abnormal climatic conditions // *Inland Water Biology*. V. 7. № 1. p. 37. <https://doi.org/10.1134/S1995082914010052>
- Comin F.A., Alonso M. 1988. Spanish salt lakes: their chemistry and biota // *Hydrobiologia*. V. 158. P. 237.
- Dgebuadze Yu.Yu. 1995. The land/inland-water ecotones and fish population of Lake Valley (West Mongolia) // *Hydrobiologia*. V. 303. P. 235.
- Doyle W.S. 1990. Changes in lake levels, salinity and the biological community of Great Salt Lake (Utah, USA), 1847–1987 // *Hydrobiologia*. V. 197. P. 139.
- Geddes M.C., De Deckker P., Williams W.D., Morton D.W., Topping M. 1981. On the chemistry and biota of some saline lakes in Western Australia // *Hydrobiologia*. V. 82. P. 201.
- Krylov A.V., Mendsaikhan B., Gantsooz B. 2011. Zooplankton of the Drying Lake Orog (Mongolia) // *Inland Water Biology*. V. 4. № 2. p. 179. <https://doi.org/10.1134/S1995082911020192>
- Williams W.D. 1998. Salinity as a determinant of the structure of biological communities in salt lakes // *Hydrobiologia*. V. 381. P. 191.

## Zooplankton of Pulsating Lakes Orog and Tacyn-Tsagan (West Mongolia) in the Beginning of Water Level Regime Stabilization Period

A. V. Krylov<sup>1,\*</sup>, B. Mendsaihan<sup>2</sup>, Ch. Ayushsuren<sup>3</sup>, and A. I. Tsvetkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia*

<sup>3</sup>*Institute of General and Experimental Biology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia*

\*e-mail: krylov@ibiw.ru

Significant interannual fluctuations of lake water mineralization as well as annual differences in atmospheric precipitation and air temperature are shown. Fluctuations of water mineralization and lake water level are not linked directly to the amount of atmospheric precipitation. A rapid increase in the water mineralization does not cause halobionts to appear in zooplankton and among the dominating species. Changes in quantitative zooplankton characteristics and ratio of taxonomic groups of invertebrates are mainly affected by the amount of precipitation as its increase may indirectly enrich the foraging base of invertebrates. Therefore, zooplankton status is related to waterbody's area, its trophic status and the connection with feeding river.

*Keywords:* zooplankton, water mineralization, atmospheric precipitation, the Valley of Lakes (West Mongolia)