

Влияние факторов внешней среды на структуру и функционирование биоценозов гипергалинных водоемов юга Западной Сибири

Л. И. ЛИТВИНЕНКО, А. И. ЛИТВИНЕНКО, Е. Г. БОЙКО, К. В. КУЦАНОВ

ФГУП “Госрыбцентр”, ФГОУ ВПО “Тюменская ГСХА”
625023, Тюмень, ул. Одесская, 33
E-mail: litvinenko_li@mail.ru

АННОТАЦИЯ

На основе многолетнего мониторинга (1995–2010 гг.) гипергалинных водоемов юга Западной Сибири с соленостью от 28 до 417 г/л выделены четыре сезона в развитии биоценозов, приведены обобщающие результаты исследований факторов внешней среды на видовой состав и продуктивность биоценозов. Выявлена определяющая роль температуры на сезонные циклы развития гидробионтов, солености – на продуктивность и состав биоценозов. Наибольшее видовое разнообразие отмечено в летний сезон при температуре более 12 °С, при отрицательной температуре фауна представлена только цистами артемии. При увеличении солености от 28 до 100 г/л число видов снижается. При солености 100 г/л фауна представлена только жаброногим рачком артемией. Наиболее продуктивны гипергалинные биоценозы при солености 150–180 г/л.

Ключевые слова: биоценоз гипергалинного водоема, артемия, соленость, температура.

Юг Западной Сибири богат мелководными (глубина около 1 м), высокопродуктивными гипергалинными водоемами. Биоценоз этих водоемов, как правило, небогат в видовом отношении. Отсутствие хищников позволяет популяциям отдельных видов беспозвоночных процветать в сообществе. По доминирующему виду в таком сообществе выделяются артемиевые водоемы. Фонд артемиевых озер в Западной Сибири в пределах России насчитывает около 80 водоемов общей площадью 1570 км². Изучение биоценозов этих водоемов начато в 70-е гг. прошлого века и проводилось в основном на озерах Алтайского края [1, 2]. Наши исследования, проведенные на озерах, расположенных на территории от Урала до Алтая, включающие круглогодичный мониторинг отдельных биоценозов, выполнены с целью расширения сведений по

структуре биоценозов и выявлению факторов, определяющих их функционирование.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для данной работы послужили результаты полевых гидробиологических исследований, проведенных с 1995 по 2010 г. на гипергалинных озерах (табл. 1). В период 2000–2004 гг. на пяти озерах проведен годовой, на семи – сезонный мониторинги. Сезон соответствовал периоду вегетации рачков артемии (с 15 апреля по 15 октября). Гидрохимическую и гидробиологическую съемку фито-, зоопланктона и бентоса выполняли 1–2 раза в месяц в течение соответственно года и сезона. В остальных озерах обследования были нерегулярными, в основном в период весенней, летней и осенней генераций арте-

Географическое расположение исследованных озер и их морфометрические характеристики

Область (край), озеро	Географические координаты	Площадь, км ²	Средняя глубина, м	Частота исследований
1	2	3	4	5
Челябинская				
Таузаткуль	54°25' N–61°53' E	12,6	0,8	НР
Соленый Кулат	55°00' N–61°57' E	0,52	0,6	НР
Октябрьское	54°27' N–62°42' E	0,2	0,7	НР
Коммунарское	54°21' N–62°53' E	0,13	0,8	НР
Горькое (Окуневое)	54°38' N–63°06' E	0,75	0,8	НР
Сосновское	54°29' N–62°42' E	1,19	1,5	ЕД
Берсеневское	55°05' N–62°07' E	1,7	1,0	ЕД
Курганская				
Лаврушино	55°03' N–61°59' E	0,61	0,6	НР
Аслыкуль	54°58' N–62°07' E	1,5	1,0	НР
Сульфатное	54°51' N–62°29' E	1,0	1,5	НР
Вишняковское	54°44' N–63°48' E	2,06	0,8	ГМ
Тибизколь	54°46' N–63°41' E	0,52	0,7	НР
Сетово	54°32' N–64°04' E	0,97	1,8	НР
Борки	54°25' N–64°13' E	3,81	1,3	НР
Гашково	54°42' N–64°32' E	3,51	1,1	СМ
Светленькое	55°16' N–66°15' E	0,3	0,5	ЕД
Актобан	55°18' N–66°19' E	6,61	0,6	СМ
Невидим	55°08' N–66°55' E	7,18	0,7	ГМ
Требушинное	55°02' N–66°56' E	3,08	0,8	СМ
Большое Курейное	54°56' N–66°56' E	3,71	0,6	СМ
Собачье	54°57' N–66°58' E	0,42	0,4	НР
Филатово	54°45' N–66°58' E	23,67	0,5	СМ
Умрешево	55°02' N–67°00' E	0,8	1,2	НР
Воскресенское	55°33' N–67°24' E	1,13	0,7	НР
Ново-Георгиевское	55°19' N–67°52' E	1,85	1,0	СМ
Большое Медвежье	55°15' N–67°50' E	38,3	0,8	ГМ
Малое Медвежье	55°15' N–68°05' E	18,1	0,8	ГМ
Частоозерское	55°23' N–68°15' E	1,59	1,1	НР
Шашмура	54°57' N–67°05' E	2,0	0,7	ЕД
Куртамышское	54°38' N–64°32' E	2,42	1,0	ЕД
Крутое	54°44' N– 66°59' E	1,15	0,3	ЕД
Тюменская				
Сиверга	55°23' N–68°45' E	52,13	0,6	НР
Соленое 18 (Окуневское)	55°43' N–68°37' E	0,79	1,0	НР
Омская				
Эбейты	54°40' N–71°45' E	83,3	0,4	ГМ
Ульжай	54°14' N–75°10' E	8,64	0,5	СМ
Новосибирская				
Горькое (Царицино)	55°00' N–76°22' E	6,70	0,6	НР
Лечебное (Яблоневка)	54°45' N–76°30' E	2,8	0,5	НР
Горькое (Ольховка)	54°45' N–76°35' E	25,0	0,8	НР

1	2	3	4	5
Чебаклы	54°38' N-76°55' E	31,0	1,5	НР
Карачи	55°20' N-77°00' E	2,25	0,7	НР
Михайловское	54°27' N-77°15' E	1,5	0,6	НР
Горькое (Барабаши)	54°12' N-77°22' E	7,9	0,5	НР
Горькое (Новоключи)	54°10' N-78°00' E	6,88	1,0	НР
Горькое (Конево)	54°15' N-78°50' E	2,8	0,6	НР
Островное	54°50' N-78°55' E	10,00	0,5	НР
Сахалин	54°25' N-76°58' E	2,4	0,5	НР
Круглое (Владимировка)	54°08' N-77°55' E	1,5	0,6	НР
Соленое (Мухино)	54°29' N-76°01' E	10,0	0,3	НР
Соленое (Ишимское)	54°46' N-75°50' E	6,0	0,5	НР
Атаичье	54°28' N-75°41' E	9,1	0,4	НР
Тухлое	54°34' N-77°12' E	9,6	0,3	НР
Соленое (Лепокурово)	54°10' N-78°13' E	0,8	0,3	НР
Малый Баган	53°52' N-77°10' E	1,32	0,2	НР
Горькое (Осинники)	54°12' N-78°02' E	1,48	0,6	НР

Примечание. ГМ – годовой мониторинг, СМ – сезонный мониторинг, ЕД – единичные исследования, НР – нерегулярные исследования (0–3 раза в сезон).

мии. Озера Алтайского края и часть озер Тувы и Хакасии обследованы единично.

Сбор и обработку гидробиологических и гидрохимических проб проводили по общепринятым методикам [3–6]. Отбор проб на каждом озере проводили с 3–12 станций в зависимости от площади акватории. Отбор гидрохимических проб и проб фитопланктона проводили батометром в объеме 1 л, проб зоопланктона – планктонной сетью Апштейна в объеме 50 л, бентосных проб – дночерпателем Петерсена с площадью захвата грунта 0,01 м². Для отмывки пробы от грунта использовали мешок из капроновой ткани для сит (размер ячеек 160 мк). Крупные организмы просчитывали и взвешивали по всей пробе. Пробы фито- и зоопланктона фиксировали 4%-м раствором формалина. При камеральной обработке гидробионтов просчитывали в камере Богорова под бинокляром МБС-10.

Проведена статистическая обработка средних показателей за сезон, исследовано 144 ряда данных. Степень сопряженности между варьирующими признаками оценивали при помощи коэффициентов линейной корреляции (r), непараметрических корреляций Спирмена (R_s). Расчет всех числовых показателей произведен в программах Microsoft Excel и Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследованные гипергалинные водоемы имели минерализацию воды от 28 до 417 г/л, что, согласно современной классификации озерных вод Западной Сибири [7], позволяет отнести их в основном к рассолам. По О. А. Алейкину [8], вода большинства озер хлоридного класса, натриевой группы, III типа. Вода отличалась высокой жесткостью, слабощелочной или щелочной реакцией среды, высоким содержанием органических веществ.

В годовой динамике солевого состава наблюдалось значительное снижение содержания всех ионов в период таяния снега – с марта по апрель (в среднем в 3 раза и более), быстрое восстановление концентрации всех ионов к маю–июню и относительное постоянство химического состава с июня по февраль.

В межгодовом аспекте соленость воды претерпевала значительные колебания, связанные с водностью. Средняя за сезон минерализация воды в отдельном озере в разные годы различалась в 2,1–7,3 раза (в среднем в 3,6 раз). Так, в наиболее изученных озерах в период с 1995 по 2010 г. соленость воды (г/л) колебалась в следующих пределах: Большое Медвежье – 110–293, Малое Медвежье – 143–304, Невидим – 66–185, Вишняков-

ское – 68–279, Ульжай – 49–143, Эбейты – 125–288, Сульфатное – 61–236, Курейное – 45–148, Требушинное – 38–130, Актобан – 57–417, Филатово – 50–175, Ново-Георгиевское – 65–176, Окуневское – 66–202, Сиверга – 45–115, Солёный Кулат – 54–178, Таузаткуль – 30–313.

Гипергалинные озера отличались большой амплитудой годовой температуры поверхностной рапы. По литературным данным, в соляных озерах Западной Сибири в течение года температура рапы колеблется от $-21,5$ зимой до $+75$ °С летом [9]. Амплитуда годовых колебаний озерной рапы, зафиксированная в наших исследованиях, несколько ниже и варьировала от -15 до $+38$ °С, что в сумме составило 53 °С.

Биоценоз гипергалинных водоемов беден по видовому составу. Всего за период исследований обнаружено 58 видов фитопланктона [10]. Наиболее разнообразны зеленые и диатомовые водоросли (22 и 20 таксонов соответственно). Синезеленые водоросли находились на третьем месте по разнообразию (12 таксонов). Меньше всего динофитовых, криптофитовых и желто-зеленых водорослей (по 1–2 таксона). Основная часть видов встречалась только в 1–2 озерах (62 % от всех исследованных озер). Только четыре вида (*Amphora coffeaeformis* Ag., *Nitzschia angustata* (W. Sm.) Grun., *Dunaliella salina* Teod., *Dunaliella viridis* Teod.) встречены почти во всех озерах.

Альгоценоз каждого водоема насчитывал в целом за сезон от 1 до 15 видов (в среднем $6,06 \pm 0,31$). Индекс видового разнообразия по Шеннону был низким – от 0,11 до 2,7 бит/мг. В количественном отношении в фитопланктоне всех озер преобладали, как правило, зеленые (вольвоксовые) водоросли, второе и третье места занимали соответственно диатомовые и синезеленые. За период исследований наблюдаемая биомасса фитопланктона в озерах была в пределах от 0,003 до 13,23 мг/л, среднесезонные значения изменялись от 0,01 до 11,38 мг/л, численности – от 0,02 до 32,29 млн кл./л. В годовой динамике развития фитопланктона не выявлено четких закономерностей, однако отмечены некоторые тенденции: в 72 % случаев биомасса фитопланктона имела пики в

весенний период (с апреля по май); в 88 % – биомасса фитопланктона в летние месяцы не поднималась выше 1 мг/л; в 71 % – в осенние месяцы наблюдалось повышение биомассы фитопланктона от небольшого до существенного; в 82 % – биомасса фитопланктона снижалась до минимума в зимние месяцы (с декабря по февраль).

Представленная годовая динамика биомассы фитопланктона объясняется влиянием нескольких факторов. Максимальная плотность фитопланктона весной обусловлена отсутствием потребителей фитопланктона и поступлением биогенов с водосборной площади. Последующее за этим резкое снижение плотности водорослей, вероятно, связано с появлением в планктоне эффективных фильтраторов – артемий. Осенний подъем биомассы фитопланктона приходится на период гибели рачков. Исследования фитопланктона в позднеосенний и зимний периоды показали, что, несмотря на снижение температуры воды (до минус 10 – минус 15 °С), уменьшение светового дня и образование ледового покрова (в январе – феврале), вегетация микроводорослей продолжалась, а биомасса их в некоторых озерах была соизмерима с летними показателями.

В зоопланктоне и бентосе за период исследований обнаружено 13 видов, принадлежащих в систематическом отношении к двум типам: членистоногие (Arthropoda) и круглые черви (*Nemathelminthes*). Из членистоногих 6 ракообразных (жаброногих – 2, веслоногих – 3, ветвистоусых – 1) и 3 вида личинок насекомых. Из круглых червей встречены 3 вида коловраток и 1 вид нематод. Все они относятся либо к галобионтам и галофилам (*Artemia* Leach 1819, *Cletocamptus retrogressus* Schm., *Moina mongolica* Dadaу, *Brachionus plicatilis* Müller, личинки *Ephydriidae*), либо к видам с широкой экологической валентностью.

Для изучения влияния сезонного хода температуры на видовую структуру биоценоза условно год разбили на сезоны в соответствии с жизненным циклом артемии: **весна** (середина апреля – май, температура $+5$ – $+20$ °С), сопровождающаяся вылуплением науплиусов из перезимовавших цист артемии, в планктоне преобладают ювенальные стадии артемии, появляются личинки Chironomidae,

Ephydrydae, веслоногие рачки *C. retrogressus*, *Diaptomus cyaneus* Kiefer, *Arctodiaptomus salinus* (Daday); **лето** (июнь–август, температура +12 – +38 °С), встречаются все возрастные стадии артемии, помимо весеннего планктона появляются *M. mongolica*, жабронный рачок *B. spinosa* Edwards, коловратки *B. plicatilis*, виды родов *Hexarthra* и *Eriphanies*; **осень** (сентябрь – октябрь, температура +2 – +20 °С), преобладают взрослые стадии артемии и цисты, встречаются личинки Chironomidae, Ephydrydae, единично *C. retrogressus*, коловратки; **зима** (ноябрь – середина апреля, температура от +5 до –15 °С), при снижении температуры ниже –5 °С происходит гибель рачков артемии, в планктоне и бентосе преимущественно цисты артемии, единично личинки Chironomidae и эфиппиумы *M. mongolica*.

Период существования рачков артемии, ограниченный нижним температурным пределом (4–5 °С), длится с середины апреля до конца октября и составляет 180 сут. Период оптимальных для роста и размножения температур приходится на три летних месяца. Неблагоприятный период популяции переживает в виде цист. За период исследований температура воды вышла за верхний предел для рачков артемии +38 °С только один раз – в конце июня 2000 г. Такая высокая температура сопровождалась дефицитом кислорода во всех исследованных в этот период озерах (Большое и Малое Медвежье, Невидим, Вишняковское, Требушинное, Курейное). Концентрация растворенного кислорода опустилась в них до 0–0,04 мг/л. Все это привело к гибели всех рачков в исследованных популяциях.

О влиянии температуры на годовую динамику плотности популяций артемии можно судить по рис. 1. В численности бентосных цист (рис. 1, А) хорошо выражены минимум, приходящийся на зимний период, и самый мощный максимум, приходящийся на сентябрь, обусловленный кладкой цист рачками II и III генераций. В сезонной динамике общей численности рачков (рис. 1, Б) отмечено наличие одного максимума, приходящегося в основном на апрель. Этот пик численности обусловлен массовым вылуплением науплиусов из цист. В сезонной динамике

биомассы (рис. 1, В) заметен пик, приходящийся на июнь, который обусловлен биомассой взрослых рачков I генерации. Таким образом, температура воды оказывает существенное влияние на биоценоз, определяя сезонные циклы развития гидробионтов.

Из всего многообразия факторов, определяющих количественное развитие артемии, выделено 15 показателей в изученных грациях: соленость (30–288 г/л), содержание хлоридов (14–141 г/л), сульфатов (1–92 г/л), соотношение хлоридов и сульфатов (0,7–94,5), рН (7,1–9,2), биомасса зоопланктона без артемии (0–23 мг/л), число видов зоопланктона (1–6), биомасса фитопланктона (0,01–16,6 мг/л), биомасса рачков артемии (0–181 мг/л), численность рачков артемии (0–960 экз./л), численность планктонных цист (0–801 экз./л), бентосных цист артемии (0–7165 тыс. экз./м²), число цист в овисаке артемии (0–75 экз.), яиц (0–62 экз.), науплиусов (0–4 экз.).

Для устранения влияния сезонного хода температуры и выявления действия других факторов в анализе использованы средние показатели за сезон. Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 2. В 74 случаях (35 %) коэффициенты линейной корреляции оказались достоверными. Причем приблизительно четверть корреляций были значительными ($r > 0,5$).

Помимо перечисленных анализировались средние за сезон показатели в изученных грациях: температура воды (15,4–18,6 °С), содержание растворенного кислорода (1,8–7,4 мг/л), концентрация азота минерального (0–0,15 мг/л нитритов, 0–0,17 мг/л нитратов), фосфатов (0,03–2,24 мг/л), железа общего (0,02–1,28 мг/л). Оказалось, что между среднесезонными показателями перечисленных параметров и показателями продуктивности сообщества (биомасса и численность артемии, фито- и зоопланктона) отсутствуют не только достоверные связи, но и какие-либо четкие закономерности.

По общей минерализации и по состоянию популяции артемий все изученные озера разбиты нами на 4 группы [10]:

1 – $\Sigma u < 70$ г/л (популяция артемии находится в этих озерах в угнетенном состоянии из-за большого количества пищевых кон-

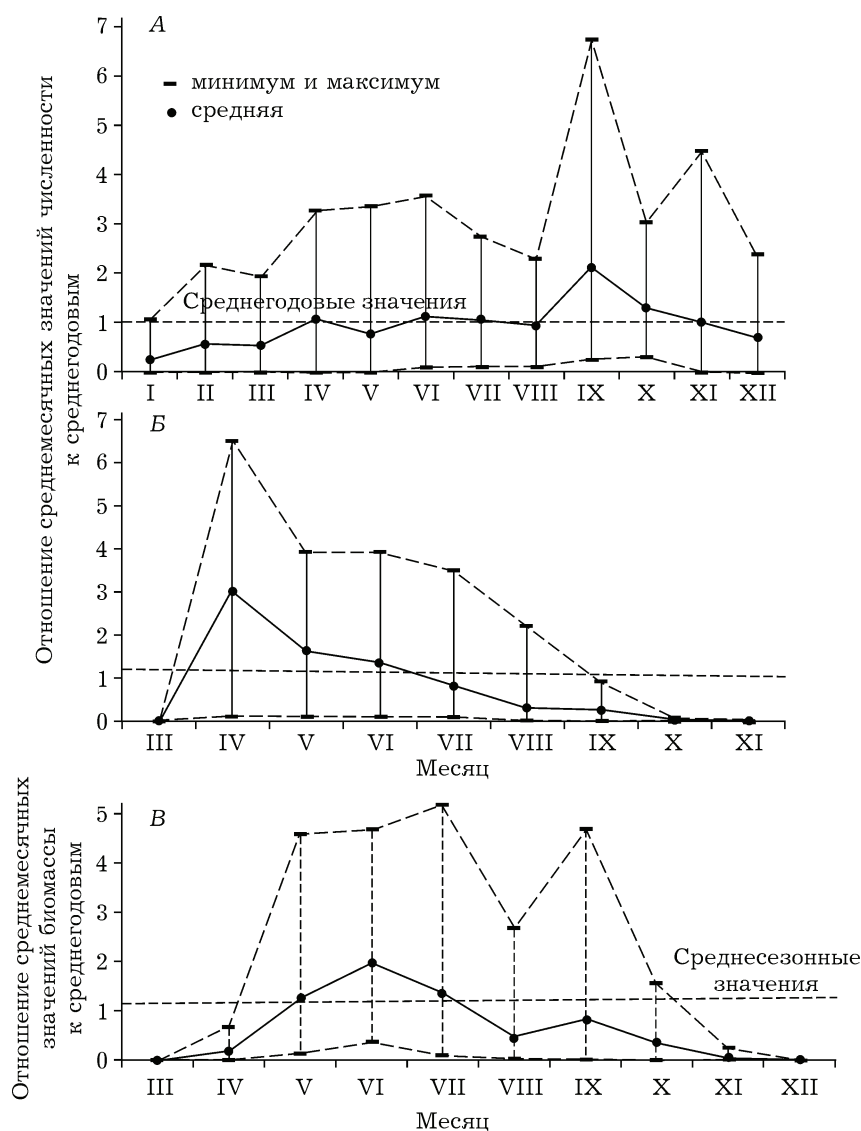


Рис. 1. Сезонная динамика численности бентосных цист (А), численности рачков (Б), биомассы рачков артемии (В), представленная как соотношение фактических и средних значений

курентов, встречаемость которых составляла 100 %; максимальные значения биомассы артемии – 85 мг/л, средние по группе – около 9 мг/л);

2 – $\Sigma u = 71-150$ г/л (встречаемость пищевых конкурентов артемии 65–75 %, артемия хорошо развивается; в этой группе зарегистрирована максимальная биомасса артемии – 400 мг/л, средняя по группе – тоже наибольшая (33 мг/л));

3 – $\Sigma u = 151-250$ г/л (артемия процветает в монокультуре, лишь единично в планктоне встречаются веслоногие рачки, однако как максимальная (202 мг/л), так и средняя

по группе (22 мг/л) биомасса артемии уже ниже, чем во второй группе);

4 – $\Sigma u > 251$ г/л (артемия испытывает токсическое действие солёности, биомасса ниже, чем во второй и третьей группах). Озера второй и третьей групп являются промысловыми, первой и четвертой – условно-промысловыми. В годы различной водности водоемы могут переходить из одной группы в другую.

В выделенных четырех группах усреднены некоторые представленные выше параметры (рис. 2). На рис. 2, а показано закономерное снижение видового разнообразия

Корреляционная матрица между среднесезонными значениями абиотических и биотических параметров

	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	Н	О	П
А	1,00	-0,18	0,89	0,71	-0,16	-0,36	-0,65	0,06	0,19	0,09	0,28	0,15	0,07	-0,25	-0,04
Б	-0,18	1,00	-0,32	0,06	-0,19	-0,06	0,15	-0,25	-0,19	-0,13	-0,27	-0,02	0,05	-0,04	-0,08
В	0,89	-0,32	1,00	0,40	0,00	-0,34	-0,58	0,14	0,27	0,08	0,26	0,15	0,09	-0,26	-0,03
Г	0,71	0,06	0,40	1,00	-0,36	-0,25	-0,42	0,00	0,05	0,04	0,20	0,05	0,03	-0,16	-0,04
Д	-0,16	-0,19	0,00	0,00	1,00	0,10	0,12	0,27	0,21	-0,01	-0,04	-0,02	-0,11	0,02	-0,02
Е	-0,36	-0,06	-0,34	-0,25	0,10	1,00	0,49	0,16	-0,15	-0,09	-0,18	-0,12	-0,09	0,21	-0,05
Ж	-0,65	0,15	-0,58	-0,42	0,12	0,49	1,00	-0,06	-0,23	-0,10	-0,19	-0,15	0,00	0,31	-0,08
З	0,06	-0,25	0,14	0,00	0,27	0,16	-0,06	1,00	-0,12	-0,04	-0,06	-0,09	0,06	0,10	0,08
И	0,19	-0,19	0,27	0,05	0,21	-0,15	-0,23	-0,12	1,00	0,18	0,30	0,06	-0,06	-0,07	0,18
К	0,09	-0,13	0,08	0,04	-0,01	-0,09	-0,10	-0,04	0,18	1,00	0,13	0,06	-0,01	0,05	0,24
Л	0,28	-0,27	0,26	0,20	-0,04	-0,18	-0,19	-0,06	0,30	0,13	1,00	0,27	0,02	-0,06	0,04
М	0,15	-0,02	0,15	0,05	-0,02	-0,12	-0,15	-0,09	0,06	0,06	0,27	1,00	0,15	-0,10	0,02
Н	0,07	0,05	0,09	0,03	-0,11	-0,09	0,00	0,06	-0,06	-0,01	0,02	0,15	1,00	-0,18	0,01
О	-0,25	-0,04	-0,26	-0,16	0,02	0,21	0,31	0,10	-0,07	0,05	-0,06	-0,10	-0,18	1,00	0,13
П	-0,04	-0,08	-0,03	-0,04	-0,02	-0,05	-0,08	0,08	0,18	0,24	0,04	0,02	0,01	0,13	1,00

П р и м е ч а н и е. А - соленость, г/л; В - рН; В - биомасса зоопланктона, мг/л; Ж - биомасса зоопланктона, мг/л; Ж - число видов зоопланктона; З - биомасса фитопланктона, мг/л; И - биомасса артемии, мг/л; И - численность рачков артемии, экз./л; Л - численность планктонных цист, тыс. экз./м³; М - численность бентосных цист, тыс. экз./м²; среднепопуляционное число цист (Н), яиц (О), науплиусов (П) в яйцевом мешке самок. Жирным шрифтом обозначены достоверные коэффициенты корреляции при $p < 0,05$.

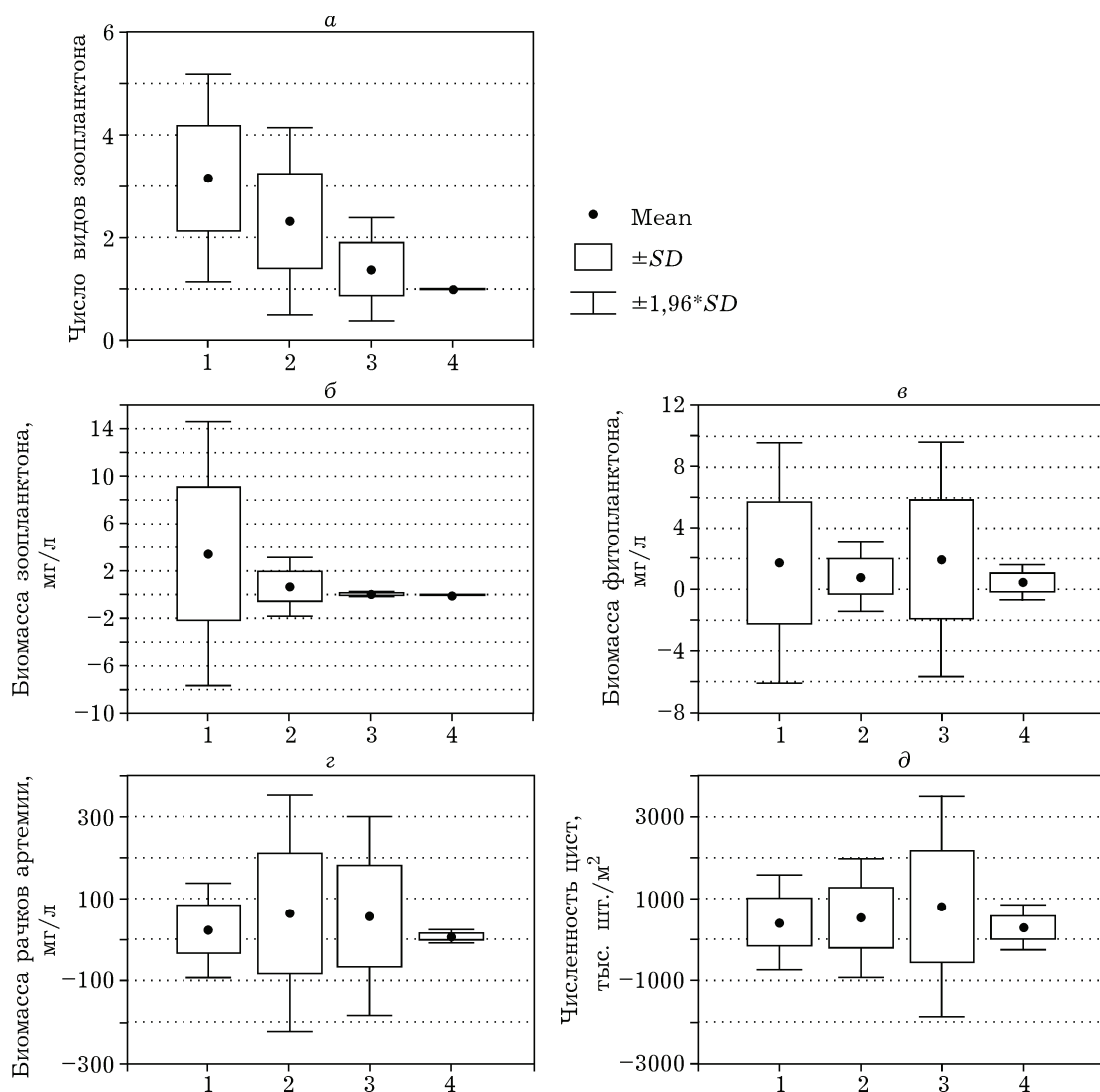


Рис. 2. Среднегрупповые показатели биотических параметров биоценозов

фауны с увеличением солености в озерах. Биомасса зоопланктона без артемии (рис. 2, б) резко снижается при переходе от первой ко второй группе, почти не обнаруживается в третьей и отсутствует в четвертой. Этот график свидетельствует о том, что соленость выше 100 г/л является барьером для развития всех сопутствующих артемии видов. Однако единично некоторые виды встречались и при более высокой солености. Так, ветвистоусые рачки *M. mongolica*, коловратки *B. plicatilis* и *Eriphanes* sp. встречались до солености 149 г/л. Встречаемость в озерах веслоногих рачков *C. retrogressus* ограничена соленостью 198 г/л, личинок Chironomidae – 213 г/л, личинок мухи-береговушки (сем.

Ephydriidae) – 255 г/л, жаброногих рачков *V. spinosa* – 67 г/л. Предельные уровни солености, при которых встречались живые рачки артемии, – 34 – 370 г/л.

В отношении артемии влияние солености не однозначно. Биомасса рачков (рис. 2, г) выше во второй и третьей группах. Численность цист в биоценозе (рис. 2, д) выше в третьей группе. В изменении биомассы фитопланктона (рис. 2, б) не прослеживается четкой закономерности.

Более наглядно в виде векторов коэффициентов линейных и непараметрических (Спирмена) корреляций представлена связь солености с анализируемыми параметрами на рис. 3. Достоверная положительная связь об-

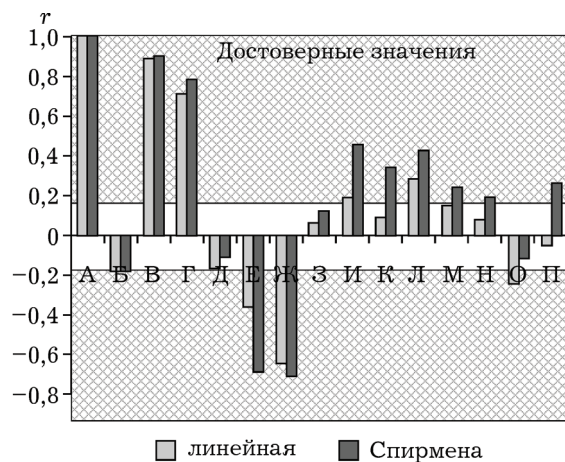


Рис. 3. Величина и направление векторов коэффициентов линейных (столбец слева) и непараметрических – Спирмена (столбец справа) корреляций между соленостью и некоторыми параметрами биоценозов (обозначения А–П такие же, как в табл. 2)

наружена между соленостью и биомассой, а также численностью рачков и цист артемии, содержанием цист в овисаках самок, отрицательная достоверная – с биомассой и числом видов зоопланктона, яиц в овисаках самок. Изучение влияния солености на отдельные параметры продуктивности артемий показало, что увеличение солености воды в озерах приводит к снижению индивидуальной массы тела рачков и увеличению числа кладок. Между соленостью воды и биомассой рачков, численностью планктонных и бентосных цист обнаружены достоверные положительные линейные связи и более сильные непараметрические, описываемые параболической

кривой с перегибом при солености, близкой к 150 г/л, для биомасс артемий (рис. 4), 140–160 – для численности планктонных цист и 160–180 г/л – для бентосных цист. Анализ кривых позволяет сделать вывод об оптимальной солености для популяции артемий в мелководных озерах Западной Сибири в пределах от 100 до 200 г/л.

Согласно Венецианской системе классификации, к гипергалинным относятся водоемы с соленостью более 40 ‰ [11]. Все обследованные нами озера можно отнести к этой категории. Важной чертой исследованных озер является бедность видового состава, отмеченная в публикациях многих авторов [1, 12–21 и др.]. По нашим наблюдениям и данным различных авторов [10, 22–24], главными составляющими биоты гипергалинных водоемов являются зеленые водоросли *Dunaliella*, жаброногие рачки *Artemia*, личинки мух-береговушек *Ephydra*. Состав других компонентов биоты колеблется и зависит от различных причин.

О влиянии температуры на сезонные циклы гидробионтов в гипергалинных водоемах, в частности артемий, говорит тот факт, что в умеренных широтах наблюдается прерывистость в их развитии и круглогодичная вегетация в условиях тропиков и субтропиков [25]. При исследовании сезонной динамики плотности популяций артемий в озерах Алтайского края В. П. Соловов и Т. Л. Студеникина [2] не обнаружили четких результатов в определении решающего фактора, обуславливающего эту динамику. Однако ими выяв-

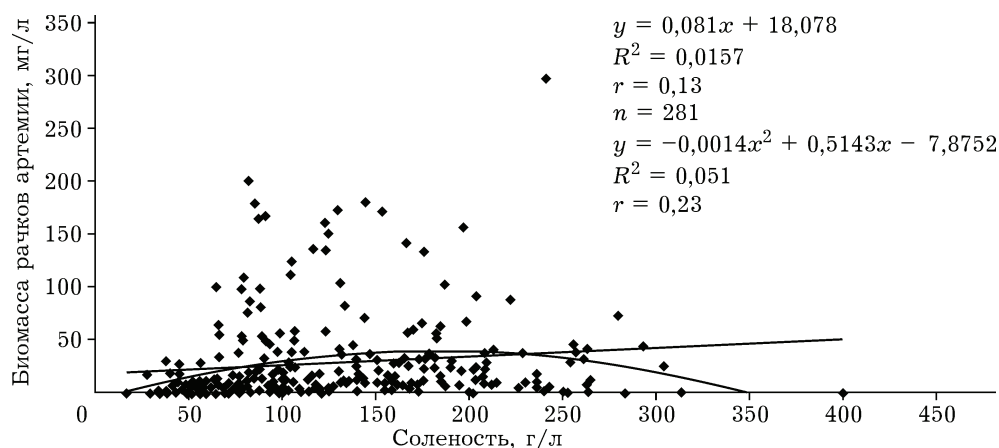


Рис. 4. Биомасса рачков артемий в популяциях в зависимости от солености воды (по средним данным за сезон)

на связь температуры и биомассы рачков в глубоководном озере Б. Яровое ($r = 0,84$) и недостоверная связь в мелководном озере Соленое ($r = 0,24$). В исследованиях других авторов [14, 26] отмечена прямая положительная связь ($r = 0,68$) между численностью рачков и температурой за вегетационный сезон. В наших исследованиях показано влияние годового хода температуры на смену комплексов гидробионтов и динамику плотности артемии (см. рис. 2).

В некоторых публикациях [19] отмечено преобладающее влияние первичной продукции на численность животных, их биомассу и количество видов, вторым по значимости фактором отмечена соленость. В наших исследованиях (см. табл. 2) между биомассой фитопланктона и биотическими параметрами биоценоза не выявлены какие-либо достоверные связи. Это можно объяснить тем, что представители зоопланктона, в частности рачки артемии, являются очень эффективными фильтраторами. В работе А. Ф. Алимова [21] помимо солености анализируется воздействие на видовое разнообразие морфометрических характеристик водоема (площадь, емкость). В наших исследованиях не отмечено влияние площади на видовой состав: и большие, и малые озера с близкой соленостью имели в основном одинаковый состав. Емкости водоемов, определяемые как соотношение средней и максимальной глубины озера, в наших исследованиях из-за мелководности водоемов (см. табл. 1) мало различались и были в пределах 0,3–0,5.

Влияние солености на био- и абиотические компоненты гипергалинных водоемов неоднозначно. С увеличением солености происходит снижение числа видов, сопровождаемое процветанием одних и снижением продуктивности (до полного исчезновения) других видов. Так, согласно данным разных авторов [12, 18, 22, 27], граница солености (‰) для распространения представителей Cladocera находится в пределах 50–110, Copepoda – 90–110, Anostraca – 280–340 г/л [14, 28 и др.] и даже 340 ‰ [19]. В наших исследованиях для Cladocera эта граница находится в районе 150 г/л (128 ‰), Copepoda и личинок Chironomidae – 200 г/л (160 ‰), личинок Ephydridae – 250 г/л (188 ‰), Anost-

гаса – 370 г/л (233 ‰). Таким образом, наши исследования позволили расширить представления о границах встречаемости некоторых групп зоопланктона.

О влиянии солености на продуктивность природных популяций артемии в литературе имеются противоречивые данные. Так, увеличение солености вызывало снижение продукции [29] и уменьшение плодовитости артемии [14]. Снижение продукции сообществ макрозообентоса при увеличении солености выявлено также в соленых озерах Крыма в градации солености от 24 до 253 ‰ [18]. Считаем, что в отношении артемии всегда необходимо указывать, в каких пределах солености действует это утверждение. По нашим данным, плотность сибирских популяций артемии наиболее высока при солености, близкой к 150 г/л (130 ‰), продукция цист – при солености, близкой к 140–180 г/л (120–150 ‰). Наши данные, полученные при анализе полевых исследований, близки к оптимальным показателям солености, полученным как при культивировании артемии (100–170 ‰ – для роста и выживаемости, 120–200 ‰ – для продукции цист [30]), так и при исследовании естественных биотопов (130–170 ‰ – для продукции цист [31], 90–150 ‰ – для биомассы и продукции цист [32]). Более широкие пределы оптимума (100–180 ‰) для репродукции артемии указаны для озер Алтайского края [33].

Надо отметить, что физиологический оптимум для рачков артемии, согласно литературным данным [34], несколько ниже этих величин и находится в пределах 50–120 ‰, при культивировании используют растворы с соленостью порядка 50 ‰ или морскую воду.

Влияние других факторов выявить сложно из-за подавляющего действия температуры и солености на всю биоту.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования выявили определяющую роль температуры в сезонных циклах развития гидробионтов и солености – в продуктивности и составе биоценозов.

Наибольшее видовое разнообразие биоценозов отмечено в летний сезон при температуре более 12 °С, зимой (при отрицательной

температуре) фауна представлена только цистами артемии, единично – личинками хирономид и эфипшиумами моины.

Увеличение солености воды привело к снижению видового разнообразия биоценозов. При солености более 100 г/л фауна представлена в основном только жаброногим рачком артемией.

Отмечена определенная зависимость продуктивности артемии от солености, хорошо описываемая параболической кривой с перегибом для соленостей в области 150–180 г/л.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веснина Л. В. Зоопланктон озерных экосистем равнины Алтайского края. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2002. 157 с.
2. Соловов В. П., Студеникина Т. Л. Особенности динамики численности популяции жаброногого рачка *Artemia salina* (L.) в озерах юга Западной Сибири и перспективы использования его ресурсов // Гидробиол. журн. 1992. Т. 28, № 2. С. 33–41.
3. Киселев А. И. Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод СССР. М.; Л., 1956. Т. I, ч. I. С. 183–265.
4. Лаврентьева Г. М., Бульон В. В. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах // Фитопланктон и его продукция. Л., 1981. 32 с.
5. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. А.Д. Семенова. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 541 с.
6. Алекин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 271 с.
7. Савченко Н. В. Гидрохимическое картографирование Западно-Сибирской равнины // Современное состояние водных биоресурсов: мат-лы Междунар. конф. Новосибирск: Агрос, 2008. С. 331–336.
8. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 413 с.
9. Дзенс-Литовский А. И. Соляные озера СССР и их минеральные богатства. Л.: Недра, 1968. 119 с.
10. Литвиненко Л. И., Литвиненко А. И., Бойко Е. Г. Артемия в озерах Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2009. 304 с.
11. Константинов А. С. Общая гидробиология. М.: Высш. шк., 1986. 472 с.
12. Иванова М. Б. О зоопланктоне гипергалинных озер // Гидробиол. журн. 1990. Т. 25, вып. 5. С. 3–9.
13. Carpelan L. H. Hydrobiology of the Alviso salt ponds // Ecology. 1957. N 38. P. 375–390.
14. Веснина Л. В., Митрофанова Е. Ю., Лисицина Т. О. Планктон соленых озер территории замкнутого стока (юг Западной Сибири, Россия) // Сиб. экол. журн. 2005. № 2. С. 221–233.
15. Веснина Л. В., Ронжина Т. О., Веселкова Э. Ю. Фитопланктон больших артемиевых озер Алтайского края // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2008. № 10. С. 22–26.
16. Ермолаева Н. И. Изучение зоопланктонных сообществ озер разной степени минерализации юга Обь-Иртышского междуречья в 2007 г. // Современное состояние водных биоресурсов: мат-лы Междунар. конф. Новосибирск: Агрос, 2008. С. 55–58.
17. Веснина Л. В., Ронжина Т. О. Современное состояние биоты озера Большое Яровое // Там же. С. 325–331.
18. Балущкина В. Е., Голубков С. М., Голубков М. С., Литвинчук Л. Ф. Структурно-функциональные характеристики экосистем малых соленых озер Крыма // Биология внутренних вод. 2007. № 2. С. 11–19.
19. Балущкина В. Е., Голубков С. М., Голубков М. С., Литвинчук Л. Ф., Шадрин Н. В. Влияние абиотических и биотических факторов на структурно-функциональную организацию экосистем соленых озер Крыма // Журн. общей биологии. 2009. № 6. С. 504–514.
20. Golubkov S., Kemp R., Golubkov M., Balushkina E., Litvinchuk L., Gubelit Y. Biodiversity and the functioning of hypersaline lake ecosystems from Crimea Peninsula (Black Sea) // Fundamental and applied limnology. 2007. N 169. P. 79–87.
21. Алимов А. Ф. Связь биологического разнообразия в континентальных водоемах с их морфометрией и минерализацией вод // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 3–8.
22. Ramdani M., Elkhiahi N., Flower R.J. Open water zooplankton communities in North African wetland lakes: the CASSARINA Project // Aquatic Ecology. 2001. N 35. P. 319–333.
23. Van Stappen G. Zoogeography // Artemia: Basic and applied biology / Eds T. J. Abatzopoulos, J. A. Beardmore, J. S. Clegg, P. Sorgeloos. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002. P. 171–224.
24. Гусев Е. Е. Гипергалинная аквакультура. М.: Агропромиздат, 1990. 159 с.
25. Lenz P. H., Dana G. L. Life-cycle studies in Artemia: a comparison between a sub-tropical and a temperate population // Artemia Research and Applications. Vol. 3. Ecology, Culturing, Use in aquaculture / Eds P. Sorgeloos, D.A. Bengtson, W. Declair, Jaspers. Belgium: Universa Press, Wetteren, 1987. P. 89–100.
26. Ронжина Т. О. Динамика численности популяции галофильного рачка *Artemia sp.* в гипергалинных озерах юга Западной Сибири: автореф. дис. ... канд биол. наук. Новосибирск, 2009.
27. Hammer U. T., Haynes R. C., Heseltine J. M., Swanson S. M. The saline lakes of Saskatchewan // Verh. Inter. Ver. Limnol. 1975. N 19. P. 589–598.
28. Новоселова З. И., Новоселов В. А. Экологический мониторинг соляных аквасистем, испытывающих антропогенную нагрузку // Сиб. экол. журн. 2000. Т. VII, № 3. С. 249–255.
29. Por F. D. A classification of hypersaline waters, based on trophic criteria // Mar. Ecol. Prog. 1980. N 1. P. 121–131.
30. Wear R. G., Haslett S. J. Studies on the biology and ecology of *Artemia* from Lake Grassmere, New Zealand // Artemia Research and Applications. Vol. 3. Ecology, Culturing, Use in aquaculture. Belgium: Universa Press, Wetteren, 1987. P. 101–126.

31. Perez Rodriguez J. M. Cyst production of *Artemia* in salt ponds in southeastern Spain // *Ibid.* P. 215.
32. Bhargava S. C., Jakher G. R., Saxena M. M., Sinha R. K. Ecology of *Artemia* in Didwana Salt Lake (India) // *Ibid.* P. 127–133.
33. Vesnina L. V. Biota structure of salt lakes of Altai region // 8th International Conference on Salt Lakes: Abstracts, 23–26 July 2002. Zhemchuzhny, Republic of Khakasia. Krasnoyarsk, 2002. P. 84–85.
34. Vanhaecke P., Siddali S. E., Sorgeloos P. International study on *Artemia*. XXXII. Combined effects of temperature and salinity on the survival of *Artemia* of various geographical origins // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1984. N 80. P. 259–275.

Effect of Environmental Factors on the Structure and Functioning of Biocoenoses of Hyperhaline Water Reservoirs in the South of West Siberia

L. I. LITVINENKO, A. I. LITVINENKO, E. G. BOYKO, K. V. KUTSANOV

FSUE "Gosrybcenter", FSEE HPE "Tyumen State Agricultural Academy"
625023, Tyumen, Odesskaya str., 33
E-mail: litvinenko_li@mail.ru

On the basis of perennial monitoring (1995–2010) of hyperhaline water reservoirs of the south of West Siberia with salinity 28 to 417 g/l, four seasons in the development of biocoenoses were distinguished, integrating results of the investigation of the effect of environmental factors on the species composition and productivity of biocoenoses were presented. The decisive effects of temperature on the seasonal cycles of hydrocole development, salinity on the productivity and composition of biocoenoses were revealed. The highest species diversity was observed in summer at temperatures above 12 °C; at negative temperatures the fauna is represented only by *artemia* cysts. With an increase of salinity from 28 to 100 g/l the number of species decreases. For salinity 100 g/l, the fauna is represented mainly by gill-footed *Artemia* crustaceans *artemias*. Hyperhaline biocoenoses are the most productive at salinity 150–180 g/l.

Key words: biocoenosis of hyperhaline water reservoir, *artemia*, salinity, temperature.