

УДК 574.58(282.247.431.2)

**ПЛАНКТОННЫЕ И ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА В СОЛЕННЫХ РЕКАХ БАСЕЙНА
ОЗ. ЭЛЬТОН: СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТЕЙ¹**

© 2018 г. Т.Д. Зинченко*, В.К. Шитиков*, Л.В. Головатюк*, В.А. Гусаков**, В.И. Лазарева**

**Институт экологии Волжского бассейна РАН*

Россия, 445003, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, д. 10

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

Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок. E-mail: zinchenko.tdz@yandex.ru

Поступила 30.01.2018

Представлены результаты комплексных гидролого-гидрохимических и гидробиологических исследований 5 соленых рек аридного региона Приэльтона. Установлено, что при взаимодействии планктонных и донных сообществ, а именно макрозообентоса, мейобентоса и зоопланктона, в видовой композиции сообществ имеется высокая доля смешанных, а по генезису «взаимопроникающих» экологических группировок. Планктонные и донные сообщества хорошо коррелируют между собой, что свидетельствует о тесной связи между ними, которая обусловлена биотическими взаимодействиями и согласованной реакцией на изменение факторов водной среды. Изучение структуры сообществ в условиях динамически неравновесной экосистемы высокоминерализованных рек выполняли с использованием современных методов статистического анализа: многомерная ординация и кластеризация, построение иерархических деревьев и моделей видовой разнообразия, выделение индикаторных видов процедурой TWINSPAN, пространственная корреляция Мантеля и т.д. Полученные результаты позволяют рассматривать планктонные и донные сообщества соленых рек как своеобразные консорциумы, структурные единицы экосистемы рек.

Ключевые слова: соленые реки, зоопланктон, макрозообентос, мейобентос, структура сообществ, методы статистического анализа.

Соленые реки бассейна гипергалинного озера Эльтон (49° 07' 30" с.ш., 46° 30' 40" в.д., Волгоградская область, аридная зона опустыненных степей) представляют интерес в первую очередь выраженным градиентом солености и изменчивым гидрологическим режимом (Zinchenko et al., 2017). Характерной особенностью лотических систем Приэльтона является их нестационарность, обусловленная глобальными и региональными климатическими колебаниями, включая антропогенное воздействие. В разных участках рек при низкой скорости течения, малой глубине и высоком трофическом статусе вод создаются и поддерживаются весьма специфические условия для жизни гидробионтов. Это наиболее продуктивные зоны, являющиеся местами откорма большого скопления пролетных и перелетных птиц (Zinchenko et al., 2014). Контактные зоны «река – гипергалинное озеро» относятся к динамически неравновесным системам с постоянно меняющимися и часто непредсказуемыми абиотическими условиями (сгонно-нагонные перемещения соленых водных масс из озера в устьевые участки рек; поверхностные и низовые затоки соленой воды). В условиях стохастической флуктуации климатических, гидролого-гидрохимических и гидрофизических факторов отмечаются межгодовые и многолетние изменения таксономической структуры сообществ (Zinchenko et al., 2017).

В мелководных соленых реках, как и в соленых озерах, обычно нет четкого разграничения планктонных и донных сообществ: их массовые виды встречаются как на дне, так и в толще воды (Ануфриева, Шадрин, 2012; Лазарева, 2017; Kolesnikova et al., 2008; Spraccesi et al., 2009). В связи с

¹ Работа выполнена по теме НИР «Оценка современного биоразнообразия и прогноз его изменения для экосистем Волжского бассейна в условиях их природной и антропогенной трансформации» и при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 17-04-00135.

этим изучение совместного пространственного распределения этих сообществ на сходных биотопах в условиях меняющихся абиотических факторов может служить важной основой для анализа общих вопросов структурной организации водных экосистем.

Сообщества планктона, мейобентоса и макрозообентоса уникальной экосистемы бассейна гипергалинного оз. Эльтон остаются мало изученными экологическими комплексами, формирующимися под влиянием солевого градиента и вариабельности среды обитания. Мелководные местообитания соленых рек можно рассматривать как динамические совокупности макро- и микробиотопов, биота которых интерферирует в сопряженные области по всей иерархии пространственных масштабов (Abood, Metzger, 1996). При этом организмы макрозообентоса, мейобентоса и планктона хорошо адаптированы к изменяющимся условиям, что подтверждается богатством видового состава, их обилием и структурным разнообразием планктонных и донных сообществ (Лазарева, 2017; Лазарева и др., 2013; Зинченко и др., 2017).). В результате каждый участок реки характеризуется разнообразием структурных вариантов этих сообществ, что ставит задачу анализа механизмов их совместного распределения и функционирования.

В ходе исследований нами изучались механизмы перестройки таксономической структуры ценозов, оценивались пределы толерантности отдельных видов и потенциал биологических процессов, направленных на адаптацию к лимитирующим природным факторам, что вызывает интерес в силу специфических особенностей аридных водных экосистем (Zinchenko et al., 2014). При этом мы рассматриваем сообщества в условиях, где роль факторов среды, влияющих на структурную организацию сообществ весьма значительна, а межвидовые взаимодействия неочевидны.

Цель работы – проведение сравнительного анализа изменения таксономической структуры донных и планктонных сообществ соленых рек бассейна гипергалинного озера Эльтон в условиях экстремальных факторов среды на основе использования разных методов многомерного статистического анализа.

Материал и методы

Исходный материал получен по результатам многолетней гидробиологической съемки макрозообентоса, мейобентоса и зоопланктона на 5 соленых реках (Хара, Большая Саморода, Чернавка, Ланцуг, Солянка) бассейна оз. Эльтон, имеющих значительный градиент минерализации (от 6 до 41.1 г/л и выше). Схема станций, методы отбора проб гидробионтов и камеральная обработка собранного материала приведены ранее (Зинченко, Головатюк, 2010; Гусаков и др., 2012; Лазарева, 2017). Одновременно проводилось измерение гидрофизических показателей и гидрохимический анализ проб воды, в том числе, температура, минерализация, pH, содержание взвешенных веществ, хлорофилла «а», растворенного кислорода, концентрации катионов, анионов и биогенных элементов (Zinchenko et al., 2017). Для проведения многомерного статистического анализа за период одновременной гидробиологической съемки в августе 2013 года была сформирована матрица 15×88 численностей T (экз./м²) отдельных таксономических групп на 15 станциях 5 соленых рек, в том числе 28 видов зоопланктона, 24 вида макрозообентоса и 36 видов мейобентоса. Значения матриц трансформировались в единую интервальную шкалу и на основе преобразованных данных рассчитывались симметричные 15×15 матрицы дистанций D , состоящие из коэффициентов расстояния Брея-Кёртиса (Bray-Curtis), как между композициями видов планктонных и донных сообществ, так и общей совокупностью видов.

При статистическом анализе акцент делался на решении следующих задач:

- а) проверка нулевой гипотезы о независимости функционирования сообществ с использованием метода матричной корреляции Мантеля (Mantel);
- б) анализ профилей трех компонент α , γ и β видового разнообразия qD в зависимости от порядка чисел q Хилла для трех сравниваемых сообществ (De'ath, 2012);
- в) кластерный анализ биотопов с использованием иерархической классификации (average linkage) и метода нечетких k -средних (fuzzy k -means);
- г) выделение индикаторных видов при RQ-диагонализации исходной матрицы T оптимизационной процедурой TWINSPAN (Two-Way INDicator SPecies ANalysis);
- д) ординация видов и биотопов для нахождения целенаправленного графического упорядочивания таксонов планктонных и донных сообществ в пространстве факторов среды на

основе канонического анализа соответствий (CCA, canonical correspondence analysis) и метода неметрического многомерного шкалирования (NMDS, nonmetric multidimensional scaling);

е) выделение приоритетных физических и химических факторов, определяющих трансформацию сообществ гидробионтов, на основе моделей деревьев классификации с многомерным откликом (MRT, Multivariate Regression Trees).

Расчеты выполнялись с использованием пакетов статистической среды R (версия 3.02). Краткое описание и библиографические первоисточники по всем перечисленным методам, а также примеры скриптов для проведения расчетов представлены в публикациях (Шитиков и др., 2012; Шитиков, Розенберг, 2014; Legendre, Legendre, 2012).

Результаты исследования

Анализ биотопической приуроченности гидробионтов планктона указывает, что большинство видов относится к бентопланктону и связано трофическими отношениями с субстратом (Крылов, 2005). Виды, наиболее характерные для отдельных участков рек, и частота их встречаемости на станциях отбора проб представлены в таблице ниже. Эупланктонные таксоны составляли 20% форм и были представлены копеподами и коловратками; бентопланктон представлен 45% таксонов, где эвритопные формы и виды меропланктона составляли 15% фауны. Отметим, что во всех реках таксоны Naupacticoidea и Ostracoda преобладали в сборах мейобентоса, характеризуя его как эумейобентос или бентопланктон. По обилию в зоопланктоне полигалинных рек (рр. Солянка, Чернавка) доминировали эвритопные виды (>50% общей численности), тогда как в мезогалинных (рр. Хара, Ланцуг и Большая Саморода) – бентопланктон или эвпланктон (Лазарева, 2017). Такие галофильные виды макрозообентоса, как личинки двукрылых *Cricotopus salinophilus* (Zinchenko, Makarchenko et Makarchenko, 2009), *Chironomus aprilius* (Meigen, 1838), *Ch. salinarius* (Kieffer 1915), *Microchironomus deribae* (Freeman, 1957), *Palpomyia schmidtii* (Freeman, 1957) и др., характерны одновременно для сообществ зоопланктона и мейобентоса.

Таблица. Виды, характерные для сообществ зоопланктона (ZP), мейобентоса (MB) и макрозообентоса (ZB), с учетом группировки станций соленых рек бассейна оз. Эльтон по ключевым гидрохимическим показателям. **Table.** Specific species of zooplankton (ZP), meiobenthos (MB) and macrozoobenthos (ZB) communities; the salty rivers stations of Elton Basin, grouped by the key hydrochemical indicators, are considered.

Сообщества	Вид, река, станции, факторы	Встречаемость, %	IndVal	p-значение
Группа 1: р. Хара – ст. 4, 5, 6 Содержание O ₂ <153.5%; содержание Mn>0.23 мг/л; минерализация <18.7 г/л				
MB	<i>Oncholaimus rivalis</i>	20	0.750	0.069
ZP, MB	<i>Brachionus calyciflorus</i>	80	0.750	0.051
ZP, MB	<i>Acanthocyclops americanus</i>	33	0.750	0.009
MB,ZB	<i>Glyptotendipes salinus</i>	13	0.500	0.146
ZB	<i>Chironomus plumosus</i>	13	0.500	0.154
MB ZP, ZB	<i>Chironomus aprilius</i>	13	0.250	1
ZB, MB	<i>Nais elinguis</i>	20	0.250	1
Группа 2: р. Солянка – ст. 10; р. Чернавка – ст. 16 O ₂ <153.5%; Mn>0.23 мг/л; минерализация>18.7 г/л				
ZP, MB ZB	<i>Palpomyia schmidtii</i>	27	0.667	0.046
ZB	<i>Berosus fulvus</i>	7	0.500	0.269
MB, ZB	<i>Culicoides riethi</i>	47	0.486	0.089
Группа 3: р. Ланцуг – ст. 8; р. Большая Саморода – ст. 14, 15 O ₂ <153.5%; Mn<0.23 мг/л; минерализация <19.4 г/л				
MB	<i>Heterocypris salina</i>	20	1.000	0.003
ZB	<i>Sphaeromias sp.</i>	13	0.667	0.048
ZB	<i>Limnodrilus profundicola</i>	13	0.667	0.06

Продолжение таблицы.

Сообщества	Вид, река, станции, факторы	Встречаемость, %	IndVal	p-значение
ZP, MB	<i>Eucyclops serrulatus</i>	13	0.667	0.049
ZP, MB	<i>Cletocamptus confluens?</i>	20	0.667	0.046
ZP, MB ZB	<i>Sigara lateralis</i>	13	0.667	0.05
ZB	<i>Gammarus lacustris</i>	27	0.620	0.085
MB	<i>Candona spp.</i>	20	0.580	0.091
ZB, ZP	<i>Paracorixa concinna</i>	13	0.333	0.468
ZB	<i>Limnodrilus udekemianus</i>	13	0.333	0.455
ZP	<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	7	0.333	0.462
Группа 4: р. Ланцуг – ст. 9; р. Хара – ст. 7 O ₂ >153.5%; минерализация <18.7 г/л				
MB, ZP	<i>Cletocamptus retrogressus</i>	53	0.621	0.011
ZB, ZP, MB	<i>Chironomus salinarius</i>	33	0.593	0.067
ZP	<i>Cletocamptus retrogressus</i>	20	0.545	0.097
ZP	<i>Diacyclops bisetosus</i>	7	0.500	0.283
ZP	<i>Arctodiaptomus (Rh.) salinus</i>	7	0.500	0.283
MB	<i>Monhystrella parvella</i>	80	0.314	0.482
MB, ZP	<i>Megacyclops viridis</i>	20	0.300	0.58
Группа 5: р. Солянка – ст. 2, 3; р. Чернавка – ст. 1, 2 O ₂ >153.5%; минерализация >19.4 г/л				
ZB, ZP, MB	<i>Palpomyia sp.</i>	53	0.667	0.011
ZP, MB	<i>Apocyclops dengizicus</i>	40	0.556	0.072
MB, ZP	<i>Cyprideis torosa var. littoralis</i>	67	0.552	0.006
ZP, MB, ZB	<i>Ephydra sp.</i>	27	0.500	0.156
MB, ZB, ZP	<i>Cricotopus salinophilus</i>	67	0.447	0.143

Примечание к таблице: IndVal – индикаторный индекс (Legendre, Legendre, 2012). Жирным шрифтом отмечены статистически значимые индикаторные виды при $\alpha=0.1$. **Note to Table:** IndVal – display index (Legendre, Legendre, 2012). Bold font notes statistically significant display species, when $\alpha=0.1$.

Для сравнительного анализа видового разнообразия ⁹D рассчитаны профили зависимости трех компонентов разнообразия α , β и γ от порядка чисел Хилла q (рис. 1). Очевидно, что общая изменчивость видовой структуры сообществ между биотопами, оцениваемая по β - и γ -разнообразию, уменьшается в ряду «макрозообентос» – «зоопланктон» – «мейобентос» на всех уровнях q . Это означает, что таксономический состав макрозообентоса более чувствителен по отношению к условиям среды, чем другие сообщества, а также имеет значительно более широкий набор видов, которые при определенных условиях оказываются ведущими (доминирующими). Последний вывод подтвержден построением ранговых моделей доминирования/разнообразия (Шитиков и др., 2012).

Таксономические структуры планктонных и донных сообществ достаточно хорошо коррелируют между собой, что свидетельствует о тесной связи между ними. С использованием матричного корреляционного анализа Мантеля (рис. 2) была подтверждена гипотеза о существовании прямых или косвенных связей между сообществами гидробионтов (макрозообентоса, мейобентоса и зоопланктона), которые обусловлены как их взаимно согласованной реакцией на изменение абиотических факторов, так и перекрестными межвидовыми взаимодействиями: $R_m=0.56/0.68$, $p<0.05$. Степень взаимосвязи между видовой структурой сообществ и комплексом гидрохимических

показателей, представленным матрицей стандартизованных евклидовых расстояний, оказалась несколько ниже: $R_m=0.39/0.44$, $p<0.05$. Разность между коэффициентами матричной корреляции R_m можно отнести за счет различных биотических отношений между сообществами и, в первую очередь, взаимной трофической согласованности видов.

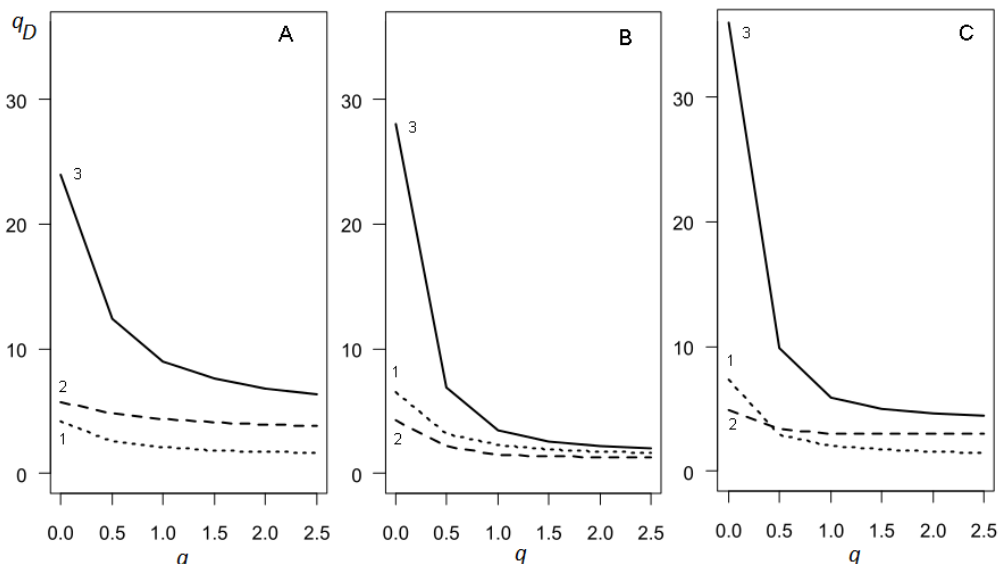


Рис. 1. Кривые зависимости компонент α - (1), β - (2) и γ - (3) видового разнообразия qD от чисел Хилла q для трех сообществ гидробионтов: макрозообентоса (А), зоопланктона (В) и мейобентоса (С).

Fig. 1. Dependence curves of components of the alpha (1), beta (2) and gamma (3) species diversity qD on Hill numbers q for the three communities of hydrobionts: macrozoobenthos (A), zooplankton (B) and meiobenthos (C).

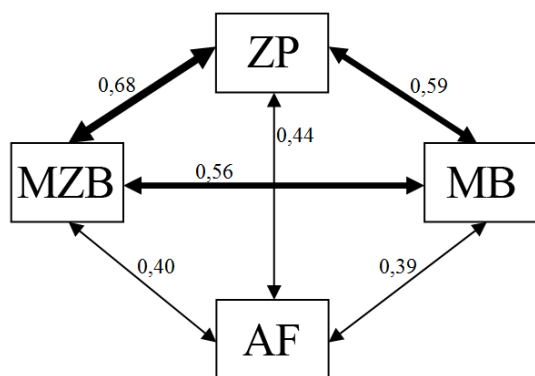


Рис. 2. Граф корреляции Мантеля между матрицами дистанций D на основе абиотических факторов (АФ) и преобразованных численностей видов макрозообентоса (МЗБ), зоопланктона (ЗП) и мейобентоса (МБ). **Fig. 2.** The graph of Mantel correlation between distance matrices D based on abiotic factors (AF) and transformed numbers of species of macrozoobenthos (MЗБ), zooplankton (ЗП) and meiobenthos (МБ).

Поскольку между сообществами существует статистически значимая синхронность изменения видового состава, рассмотрим результаты выделения устойчивых ассоциаций таксонов, характерных для отдельных типов биотопов с внутренне однородными условиями среды. Группировка видового состава любых экологических сообществ может быть осуществлена на основе двух различных подходов: (а) кластеризация без учета факторов среды, ориентирующаяся лишь на состав видов, обнаруженных в каждом местообитании, либо (б) группировка местообитаний на основании факторов среды по мере близости векторов гидрохимических показателей в евклидовом пространстве, после чего выделяются подмножества видов, встречающихся в каждом кластере.

В идеальном случае обе версии группировки должны совпасть, что практически имело место в проведенном нами анализе: оба метода кластеризации и непрямая TWINSpan-ординация привели к качественно идентичному результату, что и дерево MRT. Результат совместного разбиения местообитаний и анализируемых сообществ на пять кластеров путем построения иерархических деревьев представлен в таблице. Объяснение возможных причин их объединения в совместно

сосуществующие группы делали на основе анализа ауто- и синэкологических свойств отдельных видов (Лазарева, 2017; Зинченко и др., 2017).

Для каждого j -го вида из $s=88$ в таблице рассчитаны индикаторные индексы d_{jk} , равные произведению относительной частоты и относительной средней популяционной плотности этого вида для проб из k -й группы (Legendre, Legendre, 2012). Индекс индикаторной значимости $\text{IndVal}_j = \max[d_{jk}]$ принимает максимальное значение (100%), если экземпляры вида j встречаются во всех пробах только одной k -й группы, а соответствующее ему величина p отражает статистическую значимость каждого вида, как индикатора различных типов сообществ или условий среды.

Прямая ординация, выполненная методом неметрического многомерного шкалирования, позволила не только уточнить группировку видов и местообитаний, но и оценить статистическую значимость влияния каждого фактора среды на трансформацию видового состава анализируемых сообществ. На рисунке 3 показано, что большинство гидрохимических показателей высоко коррелируют между собой, имеют одинаковую (или диаметрально противоположную) направленность и степень влияния. Ортогонально основному мультиколлинеарному комплексу расположены оси таких важных специфически воздействующих факторов как содержание ионов марганца, кислорода (для мейобентоса), и взвешенных веществ (для макрозообентоса).

Обсуждение результатов исследования

Пространственная структура сообществ любых таксономических групп гидробионтов во многом зависит от воздействия гидролого-гидрохимических факторов и биотопических особенностей различных участков рек, которые определяют общую интенсивность продукционно-энергетических процессов (Алимов и др., 2013). Однако высокая межсезонная изменчивость параметров среды, присущая соленым рекам аридных экосистем, определяет специфический характер процессов формирования и трансформации сообществ, где главными являются адаптационные возможности отдельных видов. В этих условиях структура сообществ в каждой точке пространства определяется не столько межвидовыми взаимодействиями (мутуализм, комменсализм, конкуренция), а большей частью взаимно согласованной реакцией на стохастические, а часто и экстремальные уровни воздействия. При сосуществовании групп разноразмерных организмов мейо-, макробентоса и зоопланктона соблюдается принцип комплементарности экологических ниш (Столяров, Бурковский, 2008). Немногочисленные работы, освещающие разные аспекты организации сообществ соленых рек, как правило, функционально не аналогичны району Приэльтона, поскольку даже таксономический спектр организмов различен в соленых реках аридных регионов мира, что не позволяет нам провести даже приближенный сравнительный аспект проблемы (Spaccesi et al., 2009).

Проведенные исследования позволяют утверждать, что пространственная структура (мозаика) сообществ зоопланктона, макро- и мейобентоса совпадают: в пределах одного биотопа границы и площадь, занятая их таксоценонами перекрываются или находятся в состоянии флуктуирующего равновесия. Общей закономерностью является для всех рек снижение таксономического разнообразия зоопланктона, мейобентоса и макрозообентоса в условиях высокой трофности и продуктивности соленых вод при сохранении высокой численности гидробионтов (Лазарева, 2017; Zinchenko et al., 2017). При этом наибольшую устойчивость к критическим факторам среды проявляют нематоды, цератопогониды и хирономиды.

Понятия устойчивости и равновесия в экологии связаны с метафорой «экологического баланса», которая основана на идее, что природные компоненты стремятся скомпенсировать влияние различных внешних возмущений, что выражается в регулярных флуктуациях отдельных популяций и видового состава в целом (Cuddington, 2001). Эта метафора играет фундаментальную роль для понимания «динамического равновесия» сообществ высокоминерализованных вод аридных регионов. По-видимому, высокая изменчивость и/или непредсказуемые режимы, характерные для соленых рек приводят к такому состоянию гиперэвтрофной системы, в которой абиотические процессы являются главными факторами, определяющими структуру сообществ лотической системы. Возможно, что способность к консорциативным связям является доминирующим фактором формирования структуры сообществ в высокоминерализованных реках.

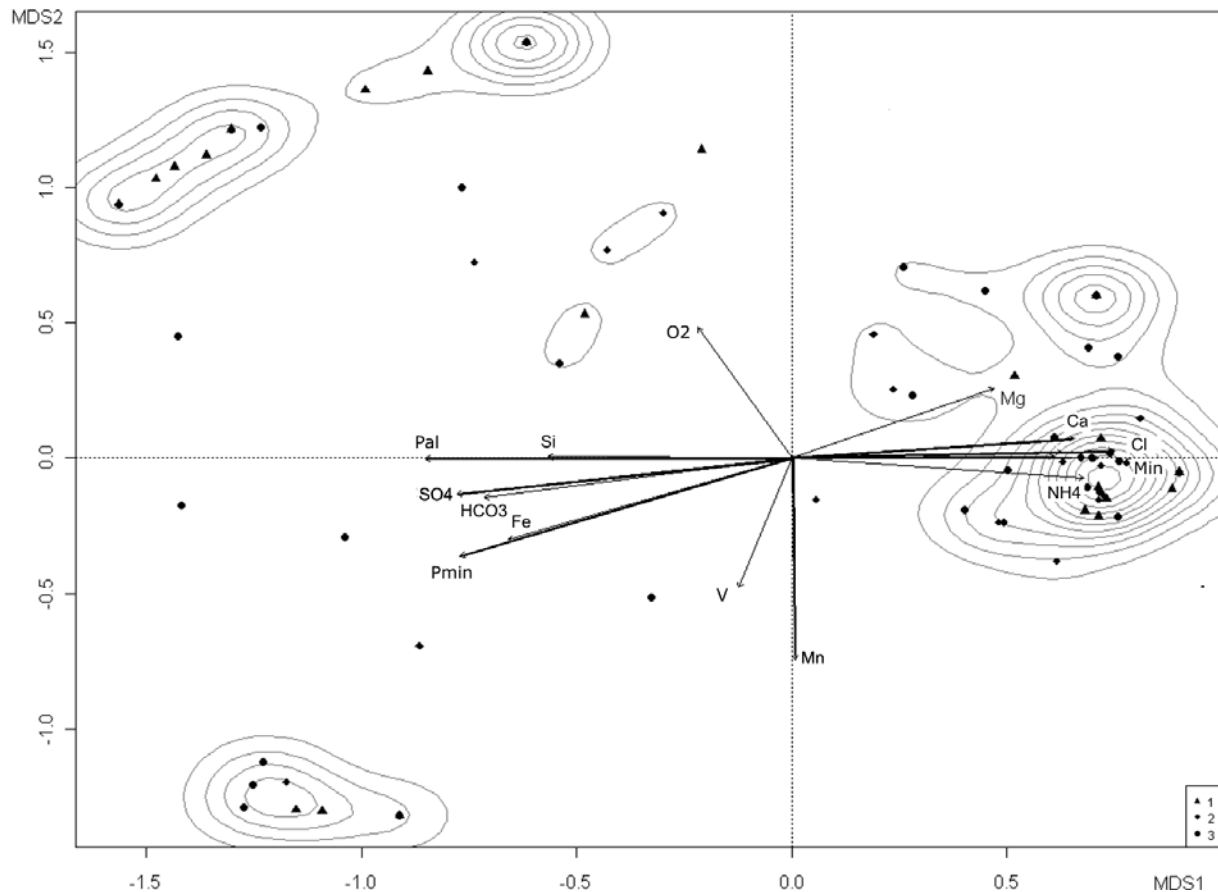


Рис. 3. Ординационная диаграмма распределения видов сообществ макрозообентоса (1), зоопланктона (2) и мейобентоса (3) по осям MDS не метрического шкалирования. Условные обозначения: стрелками указаны дополнительные оси ведущих факторов среды: содержание кальция (Ca), марганца (Mn), магния (Mg), железа (Fe), кремния (Si) аммонийного азота (NH₄), минерального (Pmin) и общего фосфора (Pal), растворенного кислорода (O₂), сульфатов (SO₄), хлоридов (Cl), бикарбонатов (HCO₃), взвешенных веществ (V) и общей минерализации (Min). **Fig. 3.** Ordination diagram of species distribution of macrozoobenthos (1), zooplankton (2) and meiobenthos (3) communities along the MDS axes of non-metric scaling. *Legend:* the arrows indicate additional axes of statistically significant environmental factors: calcium content (Ca), manganese (Mn), ammonium nitrogen (NH₄), mineral (Pmin) and total phosphorus (Pal), dissolved oxygen (O₂), sulfates (SO₄), chlorides (Cl), bicarbonates (HCO₃), suspended solids (V) and total mineralization (Min).

Заключение

Изучение структуры сообществ в условиях флуктуирующей среды системы высокоминерализованных рек на основе использования разных методов многомерного анализа позволяет рассматривать ассоциировано связанные планктонные и донные сообщества как своеобразный консорциум, представляющий структурную единицу гидрэкосистемы соленых рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов А.Ф., Богатов В.В., Голубков С.М. 2013. Продукционная гидробиология. С-Пб.: Наука. 342 с.
 Ануфриева Е. В., Шадрин Н.В. 2012. Разнообразие ракообразных в гиперсоленом озере Херсонесское (Крым) // Экосистемы, их оптимизация и охрана. Вып. 7. С. 55-61.
 Гусаков В.А., Гагарин В.Г. 2012. Состав и структура мейобентоса высокоминерализованных притоков озера Эльтон // Аридные экосистемы. Т. 18. № 4 (53). С. 45-54.
 Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В. 2010. Биоразнообразие и структура сообществ макрозообентоса соленых рек аридной зоны юга России (Приэльтонье) // Аридные экосистемы. Т. 16. № 3 (43). С. 25-33.

- Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Абросимова Э.В., Попченко Т.В., Никуленко Т.Д.* 2017. Изменения сообществ макрозообентоса при градиенте минерализации в реках бассейна гипергалинного оз. Эльтон (2006-2013 гг.) // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 19. № 5. С. 140-156.
- Крылов А.В.* 2005. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука. 263 с.
- Лазарева В.И., Гусаков В.А., Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В.* 2013. Зоопланктон соленых рек аридной зоны юга России (бассейн оз. Эльтон) // Зоологический журнал. Т. 92. № 8. С. 882-892.
- Лазарева В.И.* 2017. Топическая и трофическая структура летнего зоопланктона соленых рек бассейна оз. Эльтон // Аридные экосистемы. Т. 23. №1 (70). С.72-82.
- Столяров А.П., Бурковский И.В.* 2009. Особенности пространственной структуры сообщества мейо- и макробентоса в Лапшагиной губе (Кандалакшский залив, Белое море) // Успехи современной биологии. Т. 129. № 1. С. 78-90.
- Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С.* 2012. Макроэкология речных сообществ: концепции, методы, модели. Тольятти: Кассандра. 257 с.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С.* 2014. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. Тольятти: Кассандра. 314 с.
- Aboud K.A., Metzger S.G.* 1996. Comparing Impacts to Shallow-Water Habitats Through Time and Space // Estuaries. Vol. 19. P. 220-228.
- Cuddington K.* 2001. The "Balance of Nature" Metaphor and Equilibrium in Population Ecology // Biology and Philosophy. Vol. 16 (4). P. 463-479.
- De'ath G.* 2012. The Multinomial Diversity Model: Linking Shannon Diversity to Multiple Predictors // Ecology. Vol. 93. № 10. P. 2286-2296.
- Kolesnikova E.A., Mazlumyan S.A., Shadrin N.V.* 2008. Seasonal dynamics of meiobenthos fauna from a salt lake of the Crimea (Ukraine) // Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology. EMMM'2008. Department of Applying Geology, University of Madras, India, February 17-25, 2008. Chennai, India. P. 155-158.
- Legendre P., Legendre L.* 2012. Numerical Ecology. Amsterdam: Elsevier Science. BV. 1006 p.
- Spaccesi F., Capi'tulo A.R.* 2009. Benthic Invertebrate Assemblage in Samborombon River (Argentina, South America), a Brackish Plain River // Aquatic Ecology. Vol. 43. P. 1011-1022.
- Zinchenko T.D., Gladyshev M.I., Makhutova O.N., Sushchik N.N., Kalachova G.S., Golovatyuk L.V.* 2014. Saline Rivers Provide Arid Landscapes with a Considerable Amount of Biochemically Valuable Production of Chironomid (Diptera) Larvae // Hydrobiologia. Vol. 722. Is. 1. P. 115-128.
- Zinchenko T.D., Golovatyuk L.V., Abrosimova E.V., Popchenko T.V.* 2017. Macrozoobenthos in Saline Rivers in the Lake Elton Basin: Spatial and Temporal Dynamics // Inland Water Biology. Vol. 10. № 4. P. 384-398.

**PLANKTON AND BOTTOM COMMUNITIES IN THE SALINE RIVERS OF ELTON BASIN:
STATISTICAL ANALYSIS OF DEPENDENCES**

T.D. Zinchenko*, V.K. Shitikov*, L.V. Golovatyuk*, V.A. Gusakov, V.I. Lazareva****

**Institute of Ecology of Volga Basin RAS
Russia, 445003, Tolyatti, Komzina Str., 10*

***I.D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters RAS
Russia, 152742, Yaroslavl Oblast, Nekouzsky District, Borok. E-mail: zinchenko.tdz@yandex.ru*

In the article the authors present the results of complex hydrologo-hydrochemical and hydrobiological studies of 5 saline rivers in the arid region of Prieltonie. We have established that the interaction of plankton and benthic communities, namely macrozoobenthos, meiobenthos and zooplankton, has a high proportion of mixed and genetically "interpenetrating" ecological groupings in the species composition of communities. Plankton and bottom communities correlate well enough, which indicates a close relationship between them due to both biotic interactions and a mutually coordinated response to changes in the factors of the aquatic environment. The study of the structure of communities in the conditions of a dynamically nonequilibrium ecosystem of highly mineralized rivers was carried out using modern statistical analysis methods: multidimensional ordination and clustering, construction of hierarchical trees and species diversity models, identification of indicator species by the TWINSPAN procedure, spatial correlation of Mantel, etc. The results obtained allow us to consider plankton and bottom communities of saline rivers as distinct consortia, structural units of the ecosystem of rivers.

Keywords: saline rivers, zooplankton, macrozoobenthos, meiobenthos, community structure, statistical analysis methods.