

# СООТНОШЕНИЕ некоторых СТРУКТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГИДРОБИОЦЕНОЗОВ в УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**В условиях смешанного загрязнения малой городской реки проводились испытания авторского экспресс-показателя состояния биоценоза по соотношению численности Ciliata/Rotifera в микрозоопланктоне, отражающего степень антропогенного эвтрофирования вод. Сочетание характерных для юга поздних стадий естественно-исторического эвтрофирования с тяжелой формой антропогенного загрязнения дало возможность определить порядок величин нового индекса, близкий к верхним границам диапазона его значений.**

## Введение

**Н**еобходимость контроля антропогенного загрязнения поверхностных вод суши породила в XX веке многочисленные попытки разработки индексов для оценки состояния гидробиоценозов [1, 2]. Однако подавляющая часть разработанных на основе математической обработки массивов данных наблюдений на конкретных водоемах оказалась пригодной лишь для тех же экосистем, на материалах исследования которых они разрабатывались. Попытки широкого использования так называемых информационных индексов подтвердили некоторую их искусственность. Опыт показывает, что неизмеримо более информативны и надёжны индексы, разработанные на основе широко известных биологических закономерностей и легко объяснимых реакций биоценозов и крупных таксонов на загрязнение. Однако подобных индексов пока очень мало.

К наиболее информативным закономерностям относятся, в первую очередь, свойство трофической пирамиды изменять форму в процессе как естественного, так и антропогенного эвтрофирования водоемов, возрастание роли низших гетеротрофов в функциониру-

вании экосистем, разница в спектрах питания и токсикорезистентности крупных таксонов и т.п. Опора на глобальные закономерности позволяет использовать не только более широко применимые и надёжные индексы для мониторинга, но также и ёмкую информацию о процессах, происходящих в водных экосистемах под воздействием как естественного эвтрофирования, так и антропогенного загрязнения.

Относительно лучше положение с индексами, применяемыми для донной фауны, чем для планктона за счет меньшей динамичности первой, связанной с постоянством места обитания. Хорошо показали себя олигохетные индексы. Однако показатели донной фауны и флоры имеют ограничения, связанные с большей зависимостью от глубины, типа грунта и т.п. Зачастую оценка влияния загрязнений на экосистему с помощью донных обитателей ограничена литоральной частью водоемов.

Состояние всей водной толщи отражает планктон. Общеизвестен такой информативный показатель загрязнения как отношение числа сапрофитной микрофлоры к суммарной численности бактериопланктона. Он дает надёжную и практически однозначную информацию об уровне загрязнённости вод. Существенным ограничением его является длительность получения результатов в стационарных условиях хорошо оснащенных лабораторий. Использование этого показателя в качестве экспресс метода в полевых условиях представляется пока малоперспективным.

На базе большого материала полевых исследований, преимущественно в северных регионах страны, нами был разработан индекс антропогенного эвтрофирования, основанный на соотношении уровней количественного развития

**С.В. Кренева\***,  
доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Азовский филиал ФГБУН Мурманского морского биологического института Кольского научного центра Российской академии наук

**К.В. Кренева**,  
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт аридных зон Южного научного центра Российской академии наук

\*Адрес для корреспонденции: sofia@ssc-ras.ru

Таблица 1

Состояние зообентоса в реках Темерник и Дон (численность, экз./м<sup>2</sup> / биомасса, г/м<sup>2</sup>)

Участки рек	№	Черви экз./м <sup>2</sup> г/м <sup>2</sup>	Моллюски экз./м <sup>2</sup> г/м <sup>2</sup>	Хирономиды экз./м <sup>2</sup> г/м <sup>2</sup>	Ракообразные экз./м <sup>2</sup> г/м <sup>2</sup>	Общая численность экз./м <sup>2</sup>	Общая биомасса г/м <sup>2</sup>	Число видов
р. Темерник: «Ростовское море»	1	10 0,010	0 0	0 0	0 0	10	0,010	2
Верховое водохранилище, верхний бьеф	2	0 0 20 0,020	0 0 0 0	0 0 10 0,445	0 0 0 0	0	0	0
Верховое водохранилище, нижний бьеф	3	0,020	0	0,445	0	30	0,465	4
Низовое водохранилище ниже плотины	4	60 0,180	0 0	0 0	0 0	60	0,180	2
Змеевская балка	5	0	0	0	0	0	0	0
Устье р. Темерник	6	375 1,675	0 0	90 0,475	0 0	465	2,150	2
р. Дон: 500 м выше впадения реки Темерник	7	20	115	0	225	360	12,695	6
100 м ниже впадения реки Темерник	8	10 0,005	0 0	10 0,040	0 0	20	0,045	3
500 м ниже впадения реки Темерник	9	20 0,020	0 0	0 0	0 0	20	0,020	2
1000 м ниже впадения реки Темерник	10	10 0,015	0 0	0 0	0 0	10	0,015	1

двух более высокоорганизованных групп гетеротрофов - инфузорий и коловраток [3]. Он позволяет получать аналогичную и возможно даже более ёмкую экспресс информацию в течение 1 ч в полевых условиях и при минимальном оборудовании.

Цель настоящего исследования – проверить размерность индекса эвтрофирования (ИНЭК) [3] в экстремальных условиях малой городской реки и установить диапазон величин ИНЭК, характерный для условий южных высоко эвтрофицированных (сильно загрязненных) вод.

## Материалы и методы исследования

**И**ндекс антропогенного эвтрофирования имеет простую формулу:

$$\text{ИНЭК} = \sum n \text{ Ciliata} / \sum n \text{ Rotifera} + 1,$$

где  $\sum n$  – суммарная численность всех видов инфузорий (коловраток) в одном объеме воды.

Определение видовой принадлежности форм, входящих в состав этих ценозов, не требуется. Это является бесспорным достоинством метода, так как дает возможность широкого внедрения его в рутинные наблюдения в подразделениях любого уровня.

Зависимость ИНЭК от антропогенного эвтрофирования обусловлена рядом особенностей используемых в индексе групп организмов. Планктонные Ciliata и Rotifera занимают один биотоп, практически одну экологическую и трофическую нишу, имеют сравнительно близкие размеры, сходное время генерации, поэтому реагируют на эвтрофирование вод аналогично – быстрым ростом плотности популяций. Однако по уровню организации и в систематическом плане эти два таксона относятся к двум разным царствам - одноклеточных и многоклеточных организмов. Столь принципиальная разница в уровнях организации ведет к существенным отличиям в токсикорезистентности и адаптационных возможностях каждой из этих групп в целом. Антропогенное эвтрофирование сопровождается не только повышением концентрации питательных веществ, но и угнетающим воздействием ряда факторов: роста токсичности, мелкодисперсной мутности вод, снижения концентрации кислорода и т.п. Это вызывает отставание роста численности коловраток от роста численности инфузорий в процессе эвтрофика-

**Таблица 2**  
**Состояние зоопланктона рек Темерник и Дон (численность, тыс.экз./м<sup>3</sup> / биомасса, мг/м<sup>3</sup>)**

Участки рек	№	Rotifera тыс.экз./м <sup>3</sup> мг/м <sup>3</sup>	Сладосера, тыс.экз./м <sup>3</sup> мг/м <sup>3</sup>	Сорепода, тыс.экз./м <sup>3</sup> мг/м <sup>3</sup>	Видов Сладосера / Сорепода	Общая численность, тыс. экз./м <sup>3</sup>	Общая биомасса, мг/м <sup>3</sup>	Общее число видов
р. Темерник: Верхнее водохранилище, верхний бьеф Верхнее водохранилище, нижний бьеф	2	0 0	0,04 0,5	1,04 10,3	1/1	1,08	10,80	2
	3	17,0 96,8	54,0 6466,0	11,06 89,16	2/2	82,06	6651,96	9
	4	0,08 1,6	7,0 159,8	6,0 62,0	2/1	13,08	223,40	4
Змеевская балка	5	0,06 0,02	0 0	0 0	0	0,06	0,02	1
	6	6,0 2,04	0 0	0 0	0	6,0	2,04	1
р.Дон: 500 м выше впадения реки Темерник	7	0 0	0,06 0,562	2,18 14,74	2/2	2,24	15,302	4
	8	1,0 20,0	0 0	4,08 34,56	0/1	5,08	54,56	2
500 м ниже впадения реки Темерник	9	0 0	0 0	0,12 1,78	0/1	0,12	1,78	1
	10	0 0	0 0	0,06 1,62	0/1	0,06	1,62	1

ции пропорционально степени сочетанного влияния отрицательных факторов.

Нами ранее было установлено [3, 4], что в норме в чистых пресных водах соотношение инфузорий и коловраток колеблется в очень небольших пределах до 2 единиц. В длительном процессе естественного эвтрофирования водных экосистем рост численности коловраток происходит пропорционально росту инфузорий. Так, для олиготрофных водоемов характерны плотности Ciliata, измеряемые в единицах - десятках экземпляров в 1 л, для мезотрофных – в сотнях, в эвтрофных – до тысяч и более. При этом в незагрязняемых водах разной трофности ИНЭК имеет низкие значения. Нами была разработана шкала для оценки состояния биоценоза по основным характеристикам микрозоопланктона [5].

Практически любые сточные воды содержат значительную долю органических веществ, что, как известно, вызывает интенсивное развитие низших гетеротрофных организмов. Но при антропогенном загрязнении рост развития коловраток сильно отстает в силу большей уязвимости и более слабой способности к адаптации многоклеточных организмов, вследствие чего ИНЭК существенно возрастает.

Малая р. Темерник – правобережный приток р. Дон длиной 33 км, площадь водосбора 293 км<sup>2</sup>. Практически на всем протяжении она протекает по густонаселенной территории г. Ростов-на-Дону, принимая в себя многочисленные и разнообразные стоки предприятий и бытовой канализации. В среднем и нижнем течении в период гидробиологических исследований в июле 1992 г., т.е. до реконструкции, р. Темерник представляла собой зловонную сточную канаву. Жизнь в ней поддерживалась лишь с помощью периодических попусков воды из верхнего водохранилища («Ростовского моря»), пополняемого донской водой. Попуски также позволяли не допускать опасных концентраций сероводорода на участке № 5.

По гидрохимическим показателям качество воды в р. Темерник к устью ухудшается в десятки раз. Кроме того, русло реки зарегулировано и представляет собой каскад искусственных прудов и водохранилищ. Постоянный сток (по данным бассейнового управления) обеспечивается за счет подпитки средним расходом до 2,0 м<sup>3</sup>/с. Из «Ростовского моря» постоянно на ниже расположенный участок осуществляются сбросы в объеме 0,3-1,5 м<sup>3</sup>/с.

Таблица 3

Состояние микрозоопланктона и других гидробионтов в р. Темерник

№	Микрозоопланктон					Зообентос			Мезозоопланктон		
	Ciliata		Rotifera		ИНЭК	Числ-сть экз./м <sup>2</sup>	Биомасса г/м <sup>2</sup>	S <sub>б</sub>	Числ-сть тыс.экз./м <sup>3</sup>	Биомасса мг/м <sup>3</sup>	S <sub>з</sub>
	экз./л	S <sub>с</sub>	экз./л	S <sub>р</sub>							
1	28600	18	5000	5,0	5,7	10	0,010	2	-	-	-
3	51200	18	4200	9,0	12,2	30	0,465	4	82,06	6651,96	4
4	30600	5	800	2,5	38,3	60	0,180	2	13,08	223,40	3
6	25700	12	200	2,0	129,0	465	2,150	2	6,00	2,04	1
2	1400	5	0	0	1400,0	0	0	0	1,08	10,80	2
5	2000	4	0	0	2000,0	0	0	0	0,06	0,02	1

Примечание: S<sub>с(р, б, з)</sub> - количество видов Ciliata (Rotifera, Бентоса, Зоопланктона сетного);

«-» - нет данных.

Периодически в летнюю межень (не реже 1 раза в месяц) проводятся двухсуточные промывочные попуски расходом до 5,0 м<sup>3</sup>/с, что позволяет несколько улучшить санитарное состояние реки, в том числе и за счет сноса накоплений в ниже лежащие и без того неблагоприятные акватории дельты р. Дон и Таганрогского залива.

Однако в данных условиях сантехнические попуски не могли в корне изменить ситуацию в р. Темерник путем разбавления из-за своей маломощности, которая составляла лишь 30 % от устьевой водности реки.

По гидрохимическим показателям состав воды на всех створах можно характеризовать как не отвечающий требованиям, предъявляемым к водным объектам рыбохозяйственного назначения. Концентрации ряда загрязняющих веществ превышали ПДК в десятки и более раз. Так, БПК<sub>5</sub> составляло 2,5-22,0 ПДК, ХПК 31,2-135,2 мг/л, нефтепродуктов 8,8-145,4 ПДК, азота аммонийного 6,1-64,3 ПДК, азота нитритного 4,5-22,5 ПДК, фосфатов до 7 ПДК, меди 6-40 ПДК, железа общего 2-15 ПДК. В устье обнаруживался хром трехвалентный до 76 ПДК и т.п. В то же время все разнообразие поллютантов не ограничивалось веществами с известными ПДК, поэтому сравнительная характеристика конкретных участков по этому показателю не могла отразить действительного положения вещей, т.е. сочетанного воздействия поллютантов на биоценоз. В немалой степени его состояние зависело и от динамики вод на различных участках.

Гидробиологические пробы отбирались на 10 наиболее характерных участках рек Темерник

**Ключевые слова:** загрязнение, состояние гидробиоценоза, структурные показатели

и Дон в соответствии со стандартными створами лаборатории Донского бассейнового водохозяйственного объединения. Пробы микрозоопланктона, учитывая малые глубины реки, отбирались ведром с поверхности и обрабатывались в тот же день в живом виде. Коловратки и инфузории подсчитывались из одного объема воды по методике, описанной нами в Руководстве ГМС 1992 г. [6] Пробы мезозоопланктона отбирались также ведром, концентрировались пропусканием 100 л через планктонную сеть Апштейна (газ № 70) и фиксировались 40 % раствором формалина. Бентос отбирался дночерпателем Петерсена и обрабатывался по стандартной методике [7].

## Результаты и их обсуждение

Гидробиологические характеристики фауны р. Темерник (табл. 1-3) адекватно отражали условия существования в реке и свидетельствовали о тяжелом состоянии экосистемы. В связи с наличием большого количества не учтенных городских стоков изменение качества вод не четко связано с удаленностью от устья реки. Поэтому приводить карту расположения участков отбора проб авторы сочли нецелесообразным.

Бентосная фауна (табл. 1) р. Темерник в исследуемый период была представлена крайне бедно как в качественном, так и в количественном отношении. В грунтах створов № 2 и 5 не удалось обнаружить представителей ни одной из групп зообентоса. На остальных створах присутствовали в основном черви и только на створах № 3 и 6 были обнаружены хирономиды. Причем максимальная

плотность тех и других представителей донной фауны зафиксирована в устье реки, что, по-видимому, связано с разбавлением токсических веществ, благодаря частым промываниям грунтов донскими водами в периоды нагонных ветров. Очевидно, что за счет смешения более трофных вод р. Темерник и менее загрязненных вод р. Дон в устье локально сложились более благоприятные условия для размножения преимущественно олигохет. Как известно, в первую очередь олигохеты и во вторую хирономиды являются наиболее выносливыми представителями донной фауны по отношению к антропогенному загрязнению. Представители моллюсков и ракообразных отсутствовали не только на всех створах в самой р. Темерник, но и вдоль правого берега р. Дон на расстоянии 100, 500 и 1000 м ниже устья р. Темерник. Примечательно, что на участке р. Дон в 500 м выше впадения р. Темерник состояние донной фауны заметно лучше, чем в устье в р. Темерник. Так, донная фауна в р. Дон практически по всем показателям была богаче. Менее токсикорезистентные ракообразные и моллюски здесь составляли основу бентосного сообщества.

Рачковый зоопланктон (*табл. 2*) был полностью угнетен на створах № 5 и 6, а также крайне слабо развит на створе № 2. На остальных створах отмечалось очень низкое видовое разнообразие. Относительным обилием выделялся только участок № 3 в верхнем течении реки.

В обобщенной *табл. 3* для удобства восприятия данных все исследованные участки расположены в порядке ухудшения условий, которые подтверждаются согласованностью реакции разных ценозов. По всем гидробиологическим показателям самые тяжелые условия были на участках № 5 (ниже зоопарка) и 6 (в устье). Кроме того, выделялся также створ 2 - как и створ 5 он характеризовался сильно замедленным течением.

В первую очередь обращают на себя внимание чрезвычайно высокие, измеряемые в десятках тысяч экземпляров в литре воды, плотности планктонных Ciliata (*табл. 3*). Это свидетельствует о высокой степени органического загрязнения вод исследованной реки. Как известно [4, 8], плотность инфузорий на уровне нескольких тысяч экз./л соответствует водоемам эвтрофного класса. Однако резкие колебания количества видов Ciliata (от 4 до 18) свидетельствуют о большом напряжении в существовании цилиоценоза. Оно вызвано сочетанием изобилия питательных веществ, угнетающего влияния токсических загрязни-

телей и дефицита кислорода. Это подтверждается и существенными колебаниями общей численности Ciliata.

Еще более значительны колебания численности Rotifera, весьма высокие значения которой сменялись на самых неблагоприятных створах (№ 2 и 5) полным их угнетением. Этим же створам соответствовали и снижения уровня развития Ciliata. Это подтверждает предположение, что даже самые легко приспосабливающиеся к экстремальным условиям и самые токсикорезистентные представители гидробиоценоза – инфузории – испытывали угнетающее влияние загрязнений в данной реке.

ИНЭК в р. Темерник на всех створах был значительно выше нормы, но изменялся в широких пределах, достигая высоких значений на створах № 2 и 5. Наиболее неблагоприятными по показаниям всех исследованных групп гидробионтов следует считать участки в районе створов № 2, 5 и 6. Как видно из *табл. 3*, величина ИНЭК также именно на этих створах имела в исследованный период самые высокие значения: - 2000, 1400 и 129, соответственно, что на 2-3 порядка превышает норму.

## Заключение

Таким образом, крайне тяжелое загрязнение и антропогенное эвтрофирование по разным показателям фауны р. Темерник соответствовало максимально высоким значениям ИНЭК. Структурные показатели биоценоза достаточно согласованно отражали состояние среды, что позволило определить размерность ИНЭК, соответствующую ранее известным признакам угнетения биоценоза. Количественное развитие и соотношение групп гидробионтов можно считать наиболее информативным и логичным показателем состояния экосистемы. На наш взгляд, он предпочтителен, так как даёт наиболее полное представление о сбалансированности системы передачи вещества и энергии по трофической цепи и об интенсивности процессов самоочищения вод. Видовой состав также меняется, но он является более консервативным и количественным показателем, требующим при этом большего времени и высокой квалификации специалистов по каждой группе гидробионтов, следовательно, он непригоден для целей широкого применения в мониторинге.

По данным всех использованных в анализе ценозов состояние р. Темерник до реконструкции можно характеризовать как крайне тяже-

лое, угнетение биоты пограничное с полным вымиранием. Все группы, включая инфузорий, испытывали угнетение, уровень их развития ниже соответствующего трофической обеспеченности, о чем свидетельствуют резкие колебания численности на небольшой территории. Они обусловлены действием двух противоположно направленных факторов - избытка пищи с одной стороны и подавляющим влиянием токсичности и дефицита кислорода с другой. При этом уровень количественного развития более высокоразвитых организмов в целом ниже обычного для южных регионов. В то же время количественное развитие инфузорий (и коловраток) достигало очень высоких значений, несмотря на то, что и оно испытывало угнетающее влияние. В биоценозе сильно загрязненной реки на всех исследованных участках преобладали низшие гетеротрофные организмы; относительно высокий уровень количественного развития достигали черви.

В приведенном примере можно видеть также характерную для пространственной деструктивной антропогенной сукцессии особенность: наиболее устойчивые к отрицательному воздействию ценозы погибают резко, без постепенного снижения уровня развития, т.е. для высокой степени антропогенной эвтрофикации и загрязнения характерны скачкообразные переходы от очень высокой численности отдельных групп гидробионтов к полной их гибели. Следовательно, повышенная численность низших гетеротрофов должна служить предупреждением о возможности неожиданной гибели всего биоценоза при анализе временной антропогенной сукцессии.

В схеме временной антропогенной деструктивной сукцессии биоценоз р. Темерник в целом находился в период исследования на последнем отрезке ее кривой, что может служить моделью для изучения характерных особен-

ностей завершающей стадии антропогенной деградации экосистем. Наиболее рельефно и логично степень антропогенного пресса в этих экстремальных условиях отражает ИНЭК.

*Авторы благодарят Г.Г. Толстик и М.В. Бычкову за обработку проб бентоса и сетного планктона.*

### *Литература*

1. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1974. 60 с.
2. Макрушин А.В. Библиографический указатель по теме «Биологический анализ качества вод» с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения. Л.: ЗИН АН СССР, 1974. 53 с.
3. А.с. 1789920 СССР, МКИ<sup>5</sup> G 01n 33/18. Способ оценки качества вод и санитарного состояния водоемов / Кренева С.В. // Заявлено 2.12.1987. № 4337416. Опубликовано 23.01.1993, Бюл. № 3.
4. Кренева С.В. Применение принципа сукцессионного анализа для оценки и прогноза состояния водных экосистем. Дис. ... д-ра биол. наук. М., 2002. 523 с.
5. Кренева С.В. Шкала оценок состояния экосистем / С.В. Кренева, В.П. Седакин, К.В. Кренева // Проблемы прикладной экологии. 2002. № 1. С. 140-145.
6. Кренева С.В. Мониторинг микрозоопланктона // Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. С-П., Гидрометеиздат. 1992. С. 131-150.
7. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. С-П.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
8. Щербаков А.П. Численность и биомасса простейших в планктоне эвтрофного озера // Гидробиол. журн. 1969. Т. 5. № 2. С.14-21.



S.V. Kreneva, K.V. Kreneva

## RATIO OF SOME STRUCTURAL INDICES OF HYDROBIOCENOSIS UNDER CRITICAL POLLUTION

Test of an authorial express-index of hydrobiocenosis state was carried out under conditions of mixed pollution of small urban river. In this process number ratio of Ciliata/Rotifera microzooplankton showing degree of anthropogenic water eutrophication was used. Revealed late stages of naturalistic eutrophication typical of south with critical pollution gave to detect order of index magnitude close to upper range limit.

**Key words:** pollution, hydrobiocenosis conditions, structural indices