

А.И. Баканов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ ПО ЗООБЕНТОСУ¹

Важнейшие объекты биологического мониторинга пресноводных водоемов – организмы и сообщества зообентоса. Они отвечают основным требованиям к биологическим индикаторам, к числу которых относятся: повсеместная встречаемость, достаточно высокая численность, относительно крупные размеры, удобство сбора и обработки, сочетание обитания на постоянном биотопе с определенной подвижностью, достаточно продолжительный срок жизни для аккумуляции загрязняющих веществ. Поскольку зообентос – наиболее стабильный компонент животного населения водоемов, то использование его показателей при мониторинге водоема позволяет в определенной мере судить о состоянии и тенденциях развития всей экосистемы.

В настоящее время в мировой практике применяется > 60 методов мониторинга по зообентосу [3163], среди которых нет универсального, общепринятого. Большинство из них разработано зарубежными учеными и не могут без серьезных модификаций использоваться для изучения водоемов России (необходимо учесть специфику таких водоемов, а также состав фауны и флоры). Например, широко рекомендуемый метод Вудивисса [2329], предназначенный для исследования малых рек Англии, недостаточно корректно отражает положение на крупных российских водохранилищах.

Поскольку априори трудно выбрать метод исследования для конкретной ситуации, то обычно для повышения надежности выводов используется несколько методов. При этом возникает достаточно сложная проблема интерпретации полученных результатов, так как разные методы могут давать неодинаковую картину антропогенного воздействия. Сообщество организмов может быть охарактеризовано многими переменными, на которые изменения окружающей среды влияют по-разному. Отсюда возникает неоднозначность отклика структуры сообщества на загрязнение водоема.

Важная составная часть мониторинга – оценка состояния водоема или отдельных его частей. В отличие от количественных характеристик отдельных элементов экосистемы водоема оценка его состояния всегда относительна и субъективна. Под состоянием объекта понимается совокупность его важнейших свойств, выраженная набором определенных количественных или качественных характеристик. Для оценки состояния необходимо отметить значения этих характеристик на оценочных шкалах типа хорошо – плохо, грязно – чисто и т.п. Совокупность таких шкал – это операциональное определение конкретным исследователем термина «оценка состояния экосистемы».

Для количественной характеристики состояния бентоса использовались следующие показатели (таблица): численность N , экз. в пробе; биомасса B , мг в пробе; число видов S ; видовое разнообразие H , бит/экз., определенное методом Шеннона; олигохетный индекс Пареле ($OИП$), % – отношение численности олигохет-тубифицид к общей численности бентоса [1983]; средняя сапробность ($СС$), рассчитываемая как средневзвешенная сапробность трех первых доминирующих по численности видов бентосных организмов.

¹ Опубликовано в журнале «Водные ресурсы». – 1999. – Т. 26, № 1. – С. 108-111 [229].

Основные количественные характеристики бентоса

№ станции (рисунок)	<i>ОИП</i>	<i>B</i>	<i>N</i>	<i>S</i>	<i>H</i>	<i>СС</i>	<i>КИСС</i>	<i>КИЗ</i>
1	9,3	590,6	129,0	7,0	1,75	2,8	7,50	12,50
2	0,0	0,3	347,0	2,0	0,14	2,5	11,38	1,83
3	14,7	215,0	109,0	7,0	1,34	2,6	8,81	9,67
4	23,7	161,4	38,0	7,0	2,25	2,7	10,69	10,67
5	20,4	213,1	28,0	10,0	1,43	2,7	8,88	11,33
6	68,3	314,0	63,0	7,0	2,15	3,2	11,31	17,17
7	39,8	183,3	83,3	13,0	2,80	2,9	6,88	9,00
8	60,5	1173,1	86,0	8,0	2,30	3,6	11,12	20,17
9	86,4	698,3	118,0	6,0	1,58	3,4	12,62	20,00
10	93,9	1340,2	427,0	8,0	1,44	3,4	11,31	21,33
11	3,2	81,7	349,0	8,0	0,62	2,5	7,88	7,83
12	2,1	8,3	94,0	3,0	0,23	2,5	11,69	2,50
13	19,7	111,4	122,0	4,0	0,99	2,7	11,81	9,67
14	14,3	51,8	42,0	5,0	1,63	2,6	11,62	5,67
15	16,1	80,2	62,0	5,0	1,79	2,6	11,00	7,00
16	37,8	223,2	74,0	4,0	1,49	2,8	12,19	13,83
17	37,0	264,9	54,0	3,0	1,54	3,6	14,81	13,50
18	80,0	76,2	20,0	3,0	0,92	3,4	19,19	14,33
19	100,0	82,1	18,0	1,0	0,0	3,5	21,19	17,33
20	57,9	34,4	19,0	4,0	1,80	2,9	15,75	10,67
21	87,0	256,0	23,0	3,0	1,42	3,3	16,31	15,00
22	75,0	110,0	44,0	6,0	2,19	3,2	14,00	14,17
23	6,7	203,6	356,0	5,0	0,55	2,5	8,06	6,83
Среднее	41,5	281,5	128,6	5,6	1,41	2,9	12,0	11,83

Для объединения значений этих шести разнородных показателей и замены их одним предлагается комбинированный индекс состояния сообщества (*КИСС*), который можно найти по обычной методике расчета интегральных ранговых показателей. Вначале все станции ранжировались по каждому из шести показателей, причем ранг 1 присваивался максимальным значениям *N*, *B*, *H* и *S* и минимальным значениям *ОИП* и *СС*. Если на нескольких станциях значения какого-либо показателя были одинаковы, то они характеризовались одним средним рангом. Каждому показателю придавался определенный «вес». Опыт мониторинговых исследований показал, что *СС* более тесно связана с загрязнением, поэтому ее «вес» равен 2, «вес» *B* и *ОИП* составил 1,5, а «вес» *N*, *S* и *H* – 1. Результирующий индекс отражает состояние сообщества сразу по шести показателям и рассчитывается по следующей формуле:

$$КИСС = \left(\sum_i^k P_i R_i \right) / \sum_i^k P_i ,$$

где R_i – ранг станции по i -му показателю, i – порядковый номер этого показателя, P_i – «вес» этого показателя, k – число показателей. В данном случае

$$КИСС = (2 СС + 1,5 ОИП + 1,5 В + N + H + S) / 8 .$$

Подчеркнем, что в эту формулу входят не абсолютные значения показателей, а их ранги.

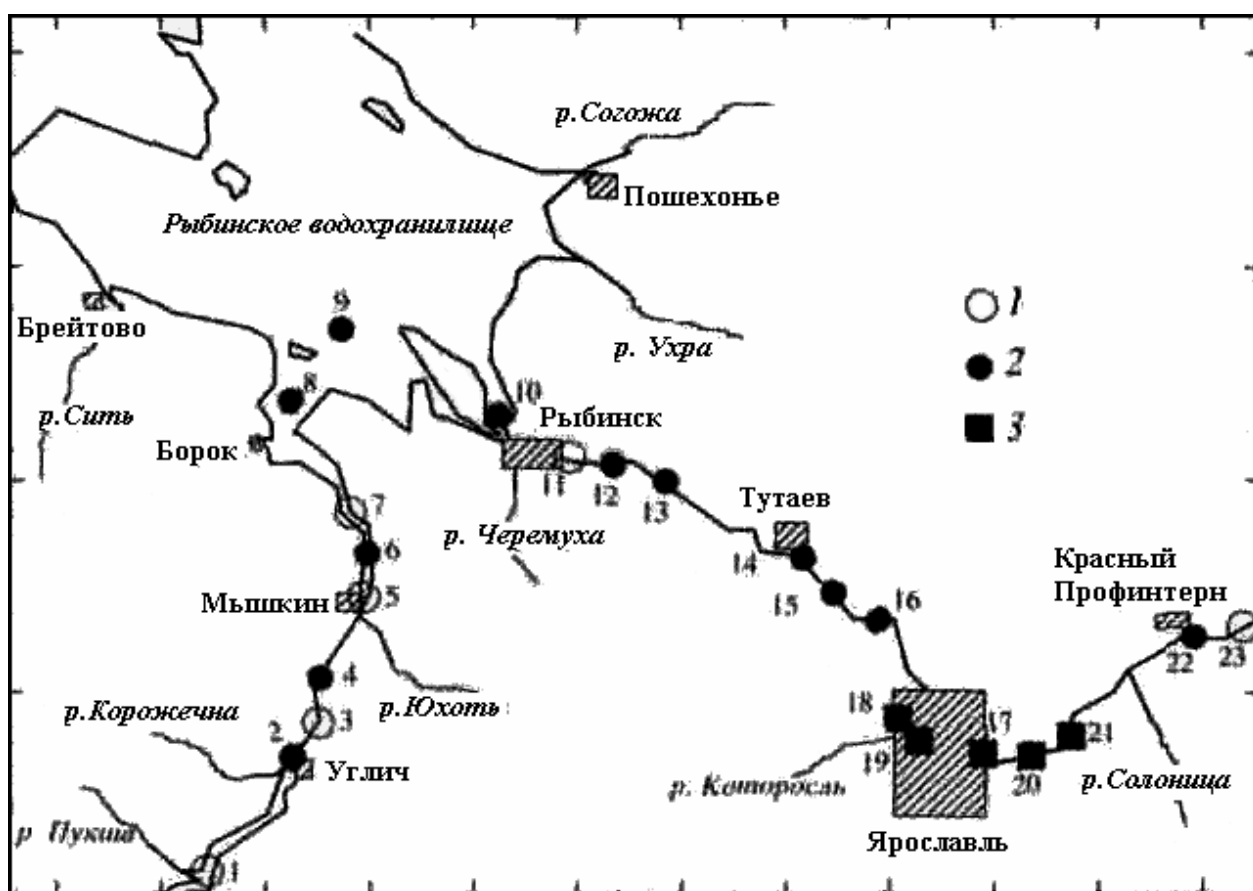
Поскольку состояние сообщества зависит как от естественных факторов среды (глубина, грунт, течение и т.п.), так и от наличия, характера и интенсивности загрязнения, то дополнительно рассчитывается комбинированный индекс загрязнения (*КИЗ*), включающий в себя ранговые значения трех показателей:

$$КИЗ = (СС + ОИП + Д) / 3 .$$

Ранжирование биомассы здесь проводится в обратном порядке (от минимальных значений к максимальным). Чем меньше значение **КИЗ**, тем меньше загрязнение.

Помимо значений, полученных на конкретной станции, необходимо рассчитывать средние значения этих показателей для всего набора станций. Эти значения позволяют судить о положении дел на конкретной станции по сравнению со средним положением.

Применение предлагаемых индексов проиллюстрируем на примере оценки состояния зообентоса Волги в пределах Ярославской обл. (акватория Угличского, Рыбинского и Горьковского водохранилищ). Пробы бентоса отбирались в июне 1996 г. на 23 станциях (рисунок). **КИСС** и **КИЗ** – относительные индексы, ранжирующие все станции по шкале, в которой наилучшее по выбранному набору показателей состояние сообщества характеризуется минимальными значениями индексов, наихудшее – максимальными. Если между значениями этих индексов существует достоверная положительная корреляция, то состояние сообществ донных животных в значительной степени определяется наличием загрязнений (в противном случае оно определяется естественными факторами среды).



Состояние сообществ зообентоса Волги в пределах Ярославской обл. согласно КИСС (1 – хорошее, 2 – удовлетворительное, 3 – плохое)

На 12 станциях значения **КИСС** (9,6–14,4) не отличались от среднего значения (12,0) больше чем на $0,67\sigma$ (σ – среднее квадратическое отклонение, равное 3,6). Поэтому состояние сообщества здесь можно характеризовать как среднее (удовлетворительное). На ст. 1, 3, 5, 7, 11 и 23, расположенных на русловых участках Волги с хорошим кислородным режимом, **КИСС** < 9,6, поэтому состояние сообщества можно оценивать как хорошее. На станциях же 17-21, расположенных в зоне влияния Ярославля, **КИСС** > 14,4, поэтому состояние сообществ зообентоса здесь явно неудовлетворительное (низкая численность ор-

ганизмов, беден видовой состав, животные представлены главным образом олигохетами-тубифицидами *Limnodrilus hoffmeisteri* и *Potamothrix hammoniensis* и личинками мотыля *Chironomus plumosus*, выдерживающими достаточно сильное загрязнение).

Значения **КИЗ** свидетельствуют о сильном загрязнении на ст. 8-10, расположенных в нижней части Волжского плеса Рыбинского водохранилища и перед плотиной Рыбинской РЭС. Это зона усиленного илонакопления, где вместе с илами аккумулируются и загрязняющие вещества. Но здесь же создаются благоприятные трофические условия (а в пресноводных водоемах развитие зообентоса очень часто лимитируется именно трофическим фактором) для обильного развития устойчивой к загрязнению донной фауны. Поэтому состояние сообществ, определяемое по индексу **КИСС**, здесь удовлетворительное.

Достоверной корреляции между **КИСС** и **КИЗ** не отмечено. Следовательно, можно полагать, что отрицательное влияние загрязнения на донную фауну носит локальный характер. В целом ее состояние определяется главным образом естественными факторами.

При сравнении состояния сообществ бентоса двух водоемов или одного водоема в разное время индексы рассчитываются по объединенным данным. Если исследователь рассматривает какой-либо участок водоема как норму или эталон, то соответствующие характеристики его могут быть введены в расчеты. В этом случае все прочие станции будут ранжированы относительно эталонной. При расчете предлагаемых индексов могут использоваться данные, характеризующие не только бентос, но и другие группы гидробионтов (фито- и зоопланктон). Исследователь, исходя из своих возможностей и опыта, может модифицировать индексы, т.е. включать в них другие показатели или придавать им иные «веса».

Характеристики сообществ зообентоса используются при мониторинге главным образом нетоксических органических загрязнений. Но в ряде случаев установлено, что личинки хирономид более устойчивы к влиянию ионов тяжелых металлов, чем олигохеты. Поэтому загрязнение солями тяжелых металлов может проявиться в уменьшении олигохетного индекса. Данных же о влиянии токсических органических загрязняющих веществ на донные сообщества пока недостаточно для широких обобщений и разработки соответствующих индексов.

Разумеется, предлагаемая методика не может заменить комплексные системы оценки качества воды [1004], для применения которых необходима работа большого коллектива ученых разного профиля, что возможно в редких случаях. Материал же для расчета **КИСС** и **КИЗ** может собрать и обработать один исследователь в относительно короткое время.