

УДК 574.21:587

doi: 10.26907/2542-064X.2020.1.134-150

## БИОТИЧЕСКИЕ ИДЕНТИФИКАТОРЫ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ЭТАЛОННОЙ РЕКИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ РЕКИ БАЙТУГАН (ВЫСОКОЕ ЗАВОЛЖЬЕ)

*Л.В. Головатюк, Т.Д. Зинченко*

*Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти, 445003, Россия*

### Аннотация

В статье приводятся результаты сравнительного анализа биоиндикационных индексов и показателей для оценки качества воды малых рек. Малая река Байтуган лесостепной зоны Высокого Заволжья, исследованная в рамках проведения экологического мониторинга, выбрана в качестве эталонного водного объекта на основе гидрохимических показателей. Согласно расчету удельного комбинаторного индекса загрязненности воды было установлено, что качество воды р. Байтуган на всех обследованных створах соответствует II классу – «слабо загрязненная».

Для сравнительного анализа эффективности биотических показателей использованы методы и метрики, предлагаемые Водной рамочной директивой Европейского Союза и традиционно применяемые в регионах Российской Федерации. Проведенный статистический анализ индикаторной значимости индексов в различных створах р. Байтуган показал, что индексы *TBI* (Trent Biotic Index) и *BMWP* (Biological Monitoring Working Party Index) являются наиболее эффективными для целей биоиндикации вследствие их низкой вариабельности при оценке качества воды, согласующейся с данными гидрохимического анализа.

Эффективность установленных для эталонной реки индексов позволяет использовать их в гидробиологическом мониторинге малых рек лесостепной зоны бассейна Нижней Волги.

**Ключевые слова:** малая река, эталонный створ, макрозообентос, биоиндикация, биотические индексы, Водная рамочная директива Европейского Союза

### Введение

В оценке состояния водных экосистем особую роль играют биоиндикационные методы [1, 2], особенно при проведении биомониторинга поверхностных вод [3, 4]. Они позволяют отследить кумулятивное действие неблагоприятных факторов (например, хронического загрязнения водоема), выявить их воздействие на организм и экосистему в целом. Применение методов биоиндикации для определения качества природных вод признается в настоящее время настолько важным, что в ряде стран (США, Великобритания, Бельгия, Швеция, Кения, Австралия и др.) специально созданные институты занимаются разработкой и обоснованием соответствующих метрических показателей [5–9], которые впоследствии закрепляются рядом документов. Среди последних особого

внимания заслуживает Водная рамочная директива Европейского Союза (Water Framework Directive, WFD; 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 г.), давшая существенный толчок развитию и совершенствованию систем биоиндикации и мониторинга экологического качества поверхностных вод в странах Европейского союза (ЕС) [2, 10]. Принятие Водной рамочной директивы в странах ЕС и некоторых странах СНГ позволило применять новые идентификаторы (помимо традиционных индексов, широко используемых в Российской Федерации) для оценки техногенного воздействия на водные экосистемы и проводить контроль качества поверхностных вод [11, 12]. Однако сложность в реализации положений данной директивы заключается в том, что государственный и региональный мониторинг затрагивает практически все сферы общественной жизни и требует междисциплинарного подхода с использованием широкого спектра знаний в экологии, экономике, организации управления, медицине, образовании и т. д.

Оценка качества вод, в том числе и поверхностных, является одной из наиболее актуальных и приоритетных задач устойчивого развития водного хозяйства России. Особое беспокойство вызывают регионы, испытывающие повышенное влияние техногенного стресса. К числу территорий с высокой антропогенной нагрузкой относится бассейн р. Волга, где проживает более 40% населения России, производится 45% промышленной и 50% сельскохозяйственной продукции [13]. Примечательно, что на территории Волжского бассейна, как и во многих других регионах мира, практически не осталось водоемов и водотоков, которые можно было бы классифицировать как естественные и «чистые» [19].

Совершенствование систем биоиндикации требует применения унифицированных и эффективных методов для оценки экологического состояния водных объектов [15–21]. Ключевым моментом в оценке состояния речных систем является выбор эталонных водотоков, дающий возможность провести калибровку эталонных показателей для последующей оценки экологического статуса речного бассейна в ходе мониторинга. Одним из требований, предъявляемых к эталонной реке, является отсутствие на водосборе организованных и точечных источников загрязнения [15, 16]. Для нашей цели р. Байтуган была выбрана в качестве эталонного водного объекта по результатам мониторинговых исследований водотоков Самарской области [12].

Целью настоящей работы стало проведение сравнительного анализа различных биотических идентификаторов, включающих индексы и метрики Водной рамочной директивы ЕС, на примере исследования эталонной р. Байтуган и выявление эффективности данных идентификаторов на региональном уровне.

### **Материал и методы исследования**

Река Байтуган, уникальный природный объект Высокого Заволжья, берет начало в отрогах Бугульминско-Белебеевской возвышенности, впадая в р. Сок (бассейн Саратовского водохранилища) по правому берегу. Бассейн р. Байтуган включает в себя ключевые ботанические и орнитологические территории и является местом концентрации охраняемых природных объектов [22, 23]. Долина реки симметричная, с крутыми склонами, покрытыми лесом. Ее длина составляет 20 км, площадь речного бассейна – 112 км<sup>2</sup>, общее падение – 155 м, средний уклон – 7.7‰ [24]. Ширина русла в нижнем течении в меженный период не превышает 5 м.

Табл. 1

Некоторые гидрологические и гидрофизические показатели эталонных створов р. Байтуган в июне 2006 г., июле 2010 г.

Показатель (в момент отбора пробы)	Номер створа			
	1	2	3	4
Расстояние от устья, км	17	10	6	3
Ширина, м	0.2–0.5*	0.8–1.1	2.5–2.7	3.0–3.5
Глубина, м	0.05–0.1	0.1–0.2	0.5–0.7	0.2–0.7
Скорость течения, м/с	0.8–1.2	0.8–1.1	0.5–0.7	1.2–1.4
Прозрачность, см	5–10	10–20	35–40	20–30
Температура, °С	12.6–14.0	12.9–13.0	10.8–12.2	16.9–17.1
Преобладающий тип грунта	ГПГр, ГрП, ИПГрРО	Гр, ИПГрРО	ПчГИ, ПГр, ИПГрРО	ПГГр, Гр, ИРО

Примечание: \* – min–max; Г – глина, П – песок, Гр – гравий, И – ил, Пч – почва, РО – растительные остатки

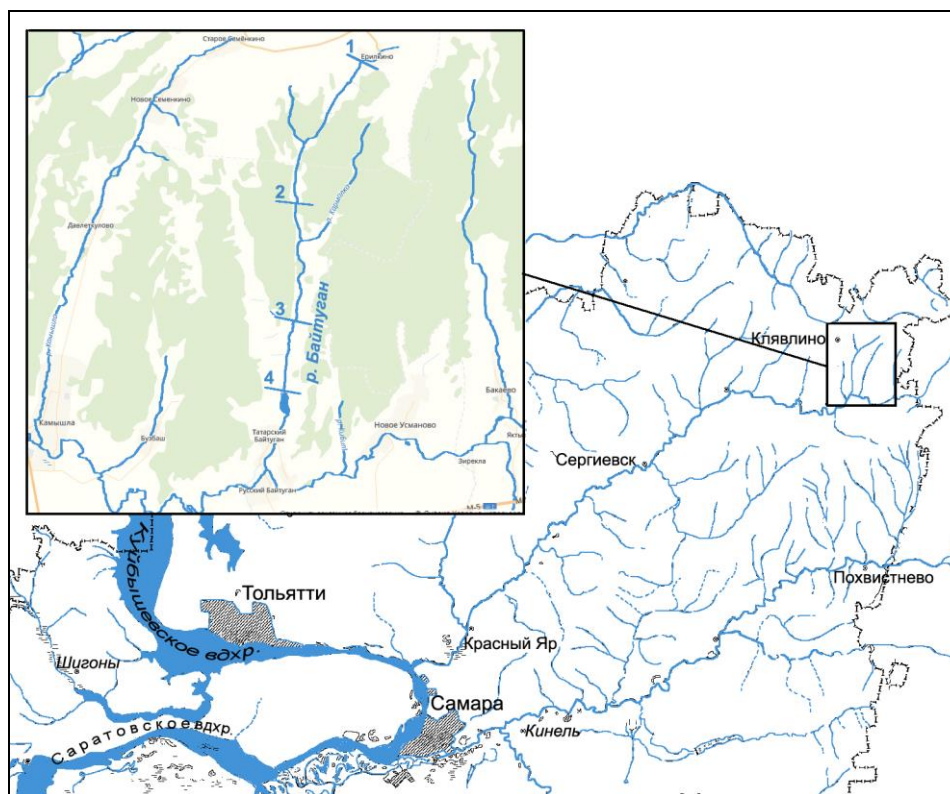


Рис. 1. Карта-схема расположения эталонных створов на р. Байтуган

Для этой реки характерны небольшие глубины: от 0.05–0.3 м на перекатах до 0.5–0.7 м на плесах. Скорость течения в период летней межени на отдельных участках достигает 1.4 м/с (табл. 1).

Отбор проб макрозообентоса осуществляли 15–18 июня 2006 г. и 5–8 июля 2010 г. от истока до устья р. Байтуган, на четырех створах (рис. 1, табл. 1). Одновременно с отбором проб макрозообентоса измеряли гидрологические параметры реки и отбирали образцы воды для проведения гидрохимического анализа.

При выборе эталонных створов руководствовались требованиями, изложенными в Водной рамочной директиве ЕС: эталонные створы расположены на слабо урбанизированной, не подверженной сельскохозяйственному воздействию территории с произрастанием естественной растительности; водосборная площадь не затронута хозяйственной деятельностью; выбранные створы русла реки не испытывают антропогенного воздействия; диффузные источники загрязнения на водосборе не носят антропогенного характера.

Пробы макрозообентоса на каждом створе реки были собраны с помощью речного бентометра в рипали и штанговым дночерпателем (площадь захвата  $1/400 \text{ м}^2$ ) в медиали – по 8 подъемов [25]. Отбор проб на разных биотопах (гравийный, гравийно-песчаный, гравийно-илистый) проводили пропорционально занимаемой ими площади на выбранных створах. Образцы грунта промывали через капроновый газ с размером ячеек 300–310 мкм. Камеральную обработку собранного материала с последующим микроскопированием проводили согласно общепринятым методам [26]. Всего было собрано и обработано 24 количественные пробы бентоса и 16 гидрохимических проб.

Для оценки качества воды р. Байтуган по гидрохимическим показателям выполнены расчеты удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ). Классификация качества воды на основе значений комбинаторного индекса позволяет разделить поверхностные воды на пять классов в зависимости от степени их загрязненности: условно чистая, слабо загрязненная, загрязненная, грязная, экстремально грязная [27].

Результаты оценки таксономического богатства, разнообразия и структурных характеристик макрозообентоса р. Байтуган легли в основу расчета и сравнительного анализа следующих биотических идентификаторов:

– *EPT Index* основан на оценке суммарного видового богатства представителей отрядов Ephemeroptera (*E*), Plecoptera (*P*) и Trichoptera (*T*) [19];

– *ETO Index* учитывает общее число видов из отрядов Ephemeroptera, Trichoptera и Odonata (*O*) [19];

– *TBI Index (Trent Biotic Index)* – биотический индекс р. Трент или индекс Вудивисса, основанный на общем разнообразии донных беспозвоночных и наличии индикаторных групп [28];

– *BMWP Index (Biological Monitoring Working Party Index)* основан на балльной оценке индикаторной значимости отдельных семейств макрозообентоса [29];

– *ASPT Index (Average Score Per Taxon Index)* является производным от индекса *BMWP*. Его особенность – уменьшать вклад случайных таксономических групп, обнаруженных в таксонах с высокой балльной оценкой [19];

– *IBGN Index (Global Biological Normalized Index)* основывается на балльной оценке более 100 таксономических групп макрозообентоса, среди которых выделены индикаторные таксоны [30];

– *GWI Index (Goodnight-Whiley Index)* основан на соотношении численности олигохет и общей численности бентоса [31];

– *хирономидный индекс Балушкиной (K)* основан на соотношении пелофильных и реофильных видов хирономид [32];

– индекс видового разнообразия Шеннона ( $H$ ) – качество воды оценивали по показателям индекса видового разнообразия с использованием градации чистоты вод, предложенной В.А. Яковлевым [33, 34];

– показатель  $Dip/N$  – отношение численности личинок двукрылых насекомых Diptera к суммарной численности макрозообентоса  $N$  [19];

– показатель  $Ch/N$  – отношение численности личинок хирономид ( $Ch$ ) к суммарной численности ( $N$ ) макрозообентоса [19];

– показатель  $EPT/Ch$  – отношение численности личинок из отрядов Ephemeroptera, Plecoptera и Trichoptera к суммарной численности личинок хирономид ( $Ch$ ) в донных сообществах [19].

Преимущества и недостатки индексов, используемых нами для выбора наиболее репрезентативных показателей качества воды эталонных створов, широко обсуждались ранее в публикациях для различных рек стран ЕС, СНГ и РФ [12, 35, 36].

Для выявления наиболее эффективных индексов и показателей рассчитывали коэффициенты вариации ( $C_v$ ) и  $t$ -критерий Стьюдента. Статистическая обработка данных выполнена с использованием стандартного пакета STATISTICA 6.0 и программы PAST, Ver. 3.0.

### Результаты и их обсуждение

**Оценка уровня загрязнения р. Байтуган по гидрохимическим показателям.** В р. Байтуган загрязняющими веществами, отмеченными в превышающих ПДК концентрациях, являются фосфаты, азот нитритный, марганец, железо и медь (табл. 2). Превышение нормативного показателя содержания в воде фосфатов ( $PO_4$ ) было зарегистрировано в створе 4 (1.1 ПДК), азота нитритного – в створах 1 и 3 (1.15 ПДК). На всем протяжении реки отмечается превышение ПДК железа и меди в 1.2–2.4 раза и 2.2–2.6 раз соответственно. Концентрация марганца выше ПДК (6–7 ПДК) зарегистрирована в створах 2–4. Содержание других измеренных химических показателей не превышало ПДК. Рассчитанный нами показатель качества воды р. Байтуган с использованием метода комплексной оценки контролируемых показателей, превышающих ПДК (УКИЗВ), на всех обследованных створах соответствовал II классу – «вода слабо загрязненная», что позволяет рассматривать р. Байтуган в качестве эталонного водного объекта.

**Структурные показатели сообществ макрозообентоса.** На створах р. Байтуган в период исследований число видов донных беспозвоночных варьировало от 28 до 49, достигая максимальных показателей на гравийных и песчано-илистых грунтах створа 3 (табл. 3). Численность и биомасса макрозообентоса на всех обследованных створах находились в пределах 3.49–210.2 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 13.2–142.3 г/м<sup>2</sup> соответственно. Выявлены межгодовые различия в соотношении преобладающих групп бентоса. Так, в 2006 г. на разных створах по численности преобладали личинки хирономид (9.8–57% от суммарной численности бентоса) и поденок (19–39%). Основу биомассы составляли личинки поденок (10–44%), хирономид (1–60%) и ручейников (17–52%) (рис. 2). Доля чувствительных к загрязнению видов из отрядов Ephemeroptera, Plecoptera и Trichoptera на разных створах варьировала от 25.4% до 45% от общей численности и 32–85% от общей

Табл. 2

Гидрохимические показатели воды (min–max) на створах р. Байтуган и оценка качества воды по индексу УКИЗВ (июнь 2006 г., июль 2010 г.)

Показатель	ПДК*	Створы			
		1	2	3	4
Общая минерализация, мг/л	1000	468–530	520–567	574–590	605–625
pH	6.5–8.5	6.9–8.5	6.9–8.8	6.9–8.5	7.2–8.2
Растворенный кислород, мг/л	6.0	9.3–11.9	9.2–10.7	9.3–12.6	7.7–11.8
Перманганатная окисляемость, мг О/л	10	1.6–10.0	3.5–8.8	1.8–1.9	1.2–1.3
БПК <sub>5</sub> , мгО/л	2	1.5–1.7	1.6–1.8	1.6–1.8	1.9–2.0
Фосфаты (по Р), мг/л	0.2	0.015–0.1	0.01–0.1	0.08–0.1	0.2–0.22
Азот аммонийный, мг/л	0.39	0.05–0.32	0.043–0.045	0.03–0.04	0.06–0.07
Азот нитритный, мг/л	0.02	0.019–0.023	0.01–0.02	0.018–0.023	0.01–0.02
Азот нитратный, мг/л	9.1	1.3–3.7	2.27–3.65	3.2–3.6	1.7–1.9
Фенолы	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Нефтепродукты	0.05	0–0.02	0–0.02	0–0.02	0–0.022
Железо, мг/л	0.1	0.10–0.12	0.05–0.18	0.1–0.24	0.12–0.23
Медь, мг/л	0.001	0.001–0.002	0.002–0.004	0.001–0.002	0.001–0.002
Никель, мг/л	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Цинк, мг/л	0.01	0.005	0.005	0.005	0.005
Свинец, мг/л	0.006	< 0.002	0	< 0.002	< 0.002
Марганец, мг/л	0.01	0.01	0–0.06	0.3–0.07	0.5–0.07
КПЗ (Критические показатели загрязнения воды)		–	–	–	–
Индекс УКИЗВ		1.3	1.6	1.7	1.7
Класс, разряд		II	II	II	II
Качество воды по индексу УКИЗВ		слабо загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная	слабо загрязненная

Примечание: \* – для объектов рыбохозяйственного назначения. Аналитическая обработка гидрохимических образцов воды произведена аккредитованной гидрохимической лабораторией ООО «Центр мониторинга водной и геологической среды», г. Самара.

биомассы макрозообентоса. В 2010 г. зарегистрировано преобладание реофильных личинок хирономид в общей численности бентоса (52.3–81.9%), а основу биомассы составляли хирономиды (2–87%), ручейники (1–77%) и поденки (1–32%). Вклад оксифильных и реофильных таксонов из отрядов Ephemeroptera, Plecoptera и Trichoptera в 2010 г. в общую численность макрозообентоса составил всего 2.4–19.6%, в общую биомассу – 2–90%, что связано с особенностями жизненных циклов амфибиотических насекомых.

Наибольшую плотность в р. Байтуган имели следующие виды: поденки *Baetis* gr. *rhodani*, *Ephemerella ignita* (Poda, 1761); веснянки *Capnia bifrons* Newman, 1839, *Amphinemura standfussi* Ris, 1902; ручейники *Hydropsyche pellucidula* Curtis, 1934, *Halesus tessellatus* (Rambur, 1842), *Silo pallipes* (Fabricius, 1781); хирономиды *Cricotopus albiforceps* (Kieffer, 1916), *Eukiefferiella* gr. *gracei*, *Paracladius conversus* (Walker, 1856), *Micropsectra atrofasciata* Kieffer, 1911; жесткокрылые *Elmis maugetii* Latreille 1798, моллюски *Euglesa* sp., олигохеты *Limnodrilus profundicola*

Табл. 3

Структурные показатели макрозообентоса на створах р. Байтуган в 2006, 2010 гг.

Показатель	Створы							
	1	2	3	4	1	2	3	4
	2006 г.				2010 г.			
Число видов	35	28	40	29	36	38	49	40
Численность, тыс. экз./м <sup>2</sup>	45.8	15.8	6.27	68.8	9.27	3.49	41.7	210.2
Биомасса, г/м <sup>2</sup>	142.3	45.9	13.2	35.7	13.3	19.2	101.3	105.4
Доля (%) Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera	45.0	37.9	25.4	35.4	10.2	19.6	6.8	2.4
Доля (%) Chironomidae	31.0	57.0	9.8	54.9	75.9	52.3	70.3	81.9

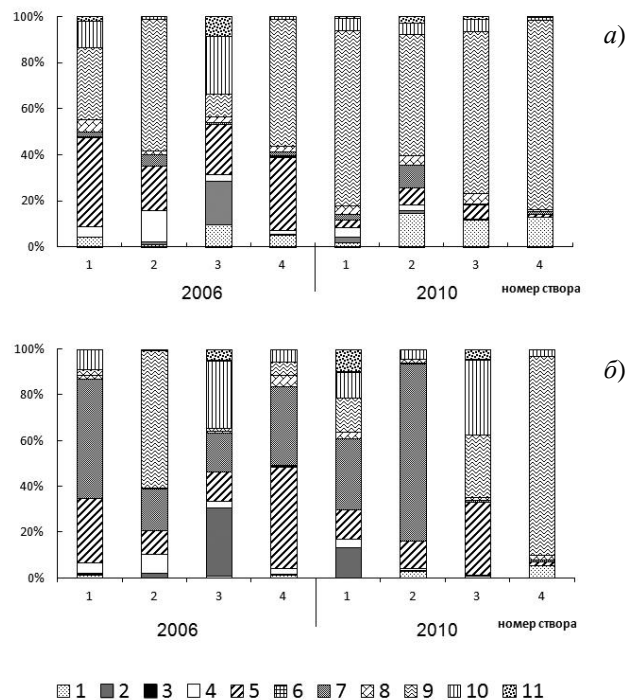


Рис. 2. Соотношение численности (а) и биомассы (б) таксономических групп макрозообентоса на створах р. Байтуган: 1 – Oligochaeta; 2 – Mollusca; 3 – Crustacea; 4 – Plecoptera; 5 – Ephemeroptera; 6 – Hemiptera; 7 – Trichoptera; 8 – Coleoptera; 9 – Chironomidae; 10 – прочие Diptera; 11 – прочие (Hirudinea, Hydrachnidia, Aranei)

(Verrill, 1871), *Potamothrix hammoniensis* (Michaelson, 1901), *Nais pseudoobtusa* Piguët, 1906. Подробное описание фауны макрозообентоса р. Байтуган дано нами ранее [37].

Полученные данные о структурных характеристиках макрозообентоса р. Байтуган представляют интерес как фоновые, характеризую «эталонное» состояние донных сообществ.

**Расчет биотических индексов и оценка качества воды.** Рассчитанные величины биотических индексов, выраженные в баллах, и установленная на их основе оценка качества воды приводятся на рис. 3 и в табл. 4.

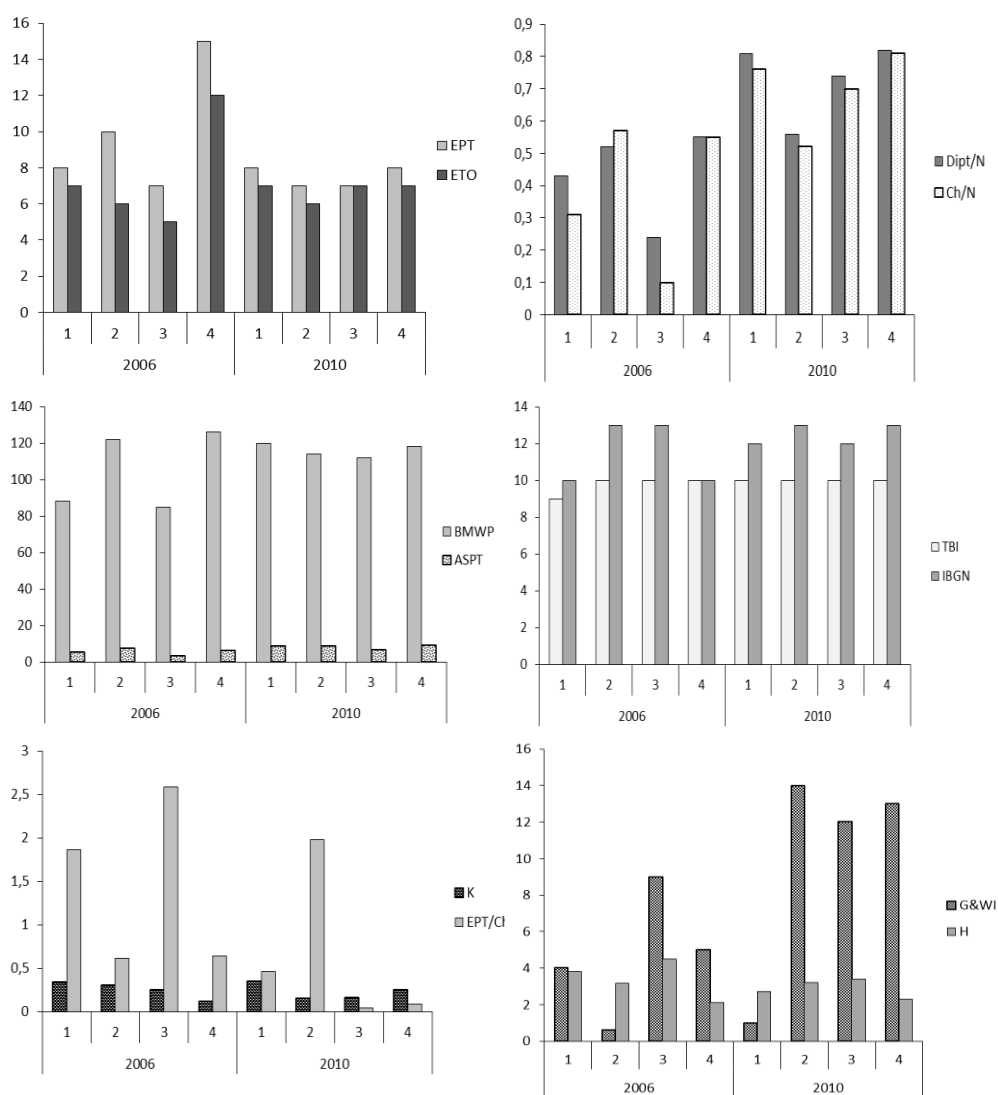


Рис. 3. Величины биотических индексов и показателей на створах р. Байтуган в июне 2006 г., июле 2010 г.: *H* – бит./экз., *G-WI* – %, остальные индексы и метрики – балльная оценка

Значения индекса *EPT* на эталонных створах р. Байтуган варьировали от 7 до 15 баллов, тогда как его величины для чистых рек различных регионов находились преимущественно в пределах 13–15 баллов [19]. Индекс *ETO*, изменяясь согласованно с *EPT*, составлял на разных створах реки 5–12 баллов. Полученные величины индекса *ETO* в связи с низкой численностью в сообществе макрозообентоса личинок стрекоз характеризуют в основном таксономическое разнообразие поденок и веснянок, поэтому данный индекс не может считаться показательным для оценки качества воды малой р. Байтуган.

Тестирование индекса *IBGN* в р. Байтуган показало, что его значения изменялись в пределах 10–13 баллов, тем самым характеризуя качество воды на разных створах как «посредственное» или «хорошее». Наивысший балл (8–9), согласно градации, был присвоен видам из семейств *Capnidae*, *Perlodidae* и *Brachycentridae*.



Табл. 4

Оценка качества воды и состояния эталонных створов р. Байтуган по биотическим индексам

Индекс	Номер створа							
	1	2	3	4	1	2	3	4
	2006				2010			
<i>BMWP</i>	хор.	очень хор.	хор.	очень хор.	очень хор.	очень хор.	очень хор.	очень хор.
<i>ASPT</i>	прекр.	прекр.	скорее плох.	прекр.	прекр.	прекр.	прекр.	прекр.
<i>IBGN</i>	посред.	хор.	хор.	посред.	посред.	хор.	посред.	хор.
<i>TBI</i>	чистая	очень чистая	очень чистая	очень чистая	очень чистая	очень чистая	очень чистая	очень чистая
<i>H</i>	чистая	чистая	очень чистая	умер. загряз.	умер. загряз.	чистая	чистая	умер. загряз.
<i>G-WI</i>	хор. сост.	хор. сост.	хор. сост.	хор. сост.	хор. сост.	хор. сост.	хор. сост.	хор. сост.
<i>K</i>	чистая	чистая	чистая	чистая	чистая	чистая	чистая	чистая

*Примечание:* хор. – хорошее качество; прекр. – прекрасное качество; плох. – плохое качество; посред. – посредственное качество; умер. загряз. – умеренно загрязненная; хор. сост. – хорошее состояние.

Значения индекса *TBI* для всех эталонных створов были стабильно высокими на протяжении периода исследований и составили 9–10 баллов, что соответствует градации: «вода чистая» и «очень чистая» (I–II классы качества). Высокие значения индекса обусловлены значительным таксономическим разнообразием макрозообентоса и постоянным присутствием в донных сообществах видов из отрядов Plecoptera, Ephemeroptera и Trichoptera, которым при расчете индекса придается большая индикаторная значимость.

Апробация индекса *BMWP* показала, что его величины на эталонных створах р. Байтуган изменялись от 85 до 126 баллов, что характеризует качество воды как «хорошее» и «очень хорошее». При этом значения индекса, превышающие 150 баллов и соответствующие «исключительному» качеству воды получены не были. Наибольшая (10 баллов) оценка, согласно расчету индекса, была присвоена обитающим в реке видам из семейств Siphonuridae, Leptophlebiidae, Ephemerellidae, Ephemeridae (Ephemeroptera); Leuctridae, Capnidae, Perlodidae (Plecoptera); Goeidae, Brachycentridae (Trichoptera); Aphelocheiridae (Heteroptera).

Балльные значения индекса *ASPT* на эталонных створах 1, 2, 4 характеризовали качество воды как «прекрасное, изменяясь в пределах 5.5–8.3 балла, а на створе 3 в 2006 г. – как «скорее плохое» (3.4 балла).

Значения индекса *G-WI* на всех обследованных створах не превышали 14%, что позволяет оценить состояние реки на всех эталонных створах как «хорошее», а полученные величины соотношения численностей различных подсемейств хирономид при расчете индекса Балушкиной (*K*) на всех эталонных створах находились в диапазоне 0.12–0.35, характеризуя воду как «чистая».

Рассчитанные нами соотношения численностей разных таксономических групп бентоса для апробации показателей *Dip/N*, *Ch/N* и *EPT/Ch* выявили низкую результативность полученных величин *Ch/N* и *EPT/Ch* в связи с большим разбросом их значений. Значения *Dip/N* мало изменялись на эталонных створах

Табл. 5

Результаты статистического анализа применения биотических индексов и показателей на эталонных створах р. Байтуган ( $C_v$  – коэффициент вариации,  $t$ -критерий Стьюдента,  $p$  – вероятность)

Индекс	$C_v$	$t$	$p$
<i>EPT</i>	31.0	1.39	0.255
<i>ETO</i>	29.5	0.48	0.664
<i>EPT/Ch</i>	94.2	1.18	0.284
<i>Dipt/N</i>	32.8	-3.23	0.019
<i>Ch/N</i>	44.4	-2.46	0.059
<b><i>BMWP</i></b>	<b>14.1</b>	-0.98	<b>0.398</b>
<i>ASPT</i>	27.8	-2.46	0.049
<b><i>IBGN</i></b>	<b>10.9</b>	<b>-1.1</b>	<b>0.340</b>
<b><i>TBI</i></b>	<b>3.5</b>	<b>0.14</b>	<b>0.9</b>
<i>H</i>	25.1	0.87	0.428
<i>G-WI</i>	73.5	-1.53	0.188
<i>K</i>	37.5	0.37	0.721

(0.24–0.81), тогда как показатель *Ch/N* колебался в диапазоне 0.09–0.81, различаясь в 8 раз, *EPT/Ch* – в 65 раз (0.04–2.59).

Значения индекса видового разнообразия Шеннона (*H*) на эталонных створах находились в пределах 2.2–4.5 бит./экз., характеризую качество воды в разные годы как «умеренно загрязненная» – «очень чистая».

Характер динамики качества воды для различных створов малых рек, представленный в табл. 3, показывает, что большинство индексов дают сходные значения для сравниваемых створов. Отличия отмечены для индекса *ASPT*, изменявшегося не согласованно с остальными на створе 3, а также индексов *IBGN* и *H*, занижавших качество воды на некоторых створах р. Байтуган.

Поскольку основным требованием к индексам является их низкая изменчивость в пределах эталонных условий, для каждого апробированного идентификатора нами были рассчитаны коэффициенты вариации ( $C_v$ ). Результаты статистического анализа представлены в табл. 5.

Установлено, что наибольшим постоянством в «эталонных» условиях характеризуются индексы *TBI* ( $C_v = 3.5$ ), *IBGN* ( $C_v = 10.9$ ), *BMWP* ( $C_v = 14.1$ ); более изменчивы индексы *H* ( $C_v = 25.1$ ), *ASPT* ( $C_v = 27.8$ ), *EPT* ( $C_v = 31$ ), *Dipt/N* ( $C_v = 32.8$ ), *K* ( $C_v = 37.5$ ). Максимальные значения коэффициентов вариации отмечены для показателей *EPT/Ch* ( $C_v = 94.2$ ), *Ch/N* ( $C_v = 44.4$ ), а также индекса *G-WI* ( $C_v = 73.5$ ), что свидетельствует об их высокой вариабельности при оценке качества воды в эталонных условиях водного объекта.

Расчет  $t$ -критерия Стьюдента для оценки вариабельности апробируемых индексов в разные годы исследований выявил достоверные различия только для индекса *ASPT* и соотношения *Dipt/N* ( $p < 0.05$ ); значения остальных индексов были более стабильными в пределах эталонных условий на протяжении всего периода исследований.

Исходя из проведенного статистического анализа, индексы *TBI* и *BMWP* можно считать наиболее показательными для целей биоиндикации вследствие их низкой вариабельности в пределах эталонных условий, отсутствием достоверных

различий в межгодовом аспекте и оценке качества воды, согласующейся с гидрохимическими показателями.

Мы не рекомендуем к использованию индекс *IBGN*, несмотря на его низкую вариабельность, так как он занижал качество воды на некоторых створах р. Байтуган, характеризуя его как «посредственное».

Следует отметить, что индексы *TBI* и *BMWP* широко применяются с целью биоиндикации поверхностных вод в США, странах Европейского союза, Африки, Азии, Океании и Латинской Америки [38–40].

### Заключение

Для формирования донных сообществ в речных экосистемах различных регионов огромное значение имеют специфические условия, обусловленные особенностями целого ряда факторов (гидроморфологических, климатических, гидрологических и др.). В связи с этим при проведении биомониторинга природных водных объектов необходимо опираться на такие биотические индексы и показатели, которые дают возможность адекватно оценивать качество их вод. Анализ качества воды на основе расчета биотических идентификаторов в эталонной реке отражает таксономические и структурные особенности сообществ макрозообентоса, позволяя впоследствии оценить чувствительность разных таксономических групп к определенным параметрам.

Применение методов статистического анализа для сравнения биотических идентификаторов в р. Байтуган выявило наиболее эффективные индексы, такие как *BMWP* и *TBI*. Эти индексы характеризуются малой вариабельностью в пределах эталонных условий и согласуются с оценкой качества вод по гидрохимическим показателям.

Использование индексов *BMWP* и *TBI* как основных показателей качества воды в эталонных водотоках позволит проводить оценку экологического состояния водных объектов, в том числе малых рек лесостепной зоны бассейна Нижней Волги, находящихся под влиянием антропогенного воздействия, что послужит основой для разработки мер по рациональному использованию и охране водных ресурсов региона.

Можно констатировать, что значительную роль в комплексном экосистемном подходе к оценке состояния малых рек играют наблюдения за локальными физическими, химическими и биологическими характеристиками в процессе мониторинга.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания «Оценка современного биоразнообразия и прогноз его изменения для экосистем Волжского бассейна в условиях их природной и антропогенной трансформации» (AAAA–A17-117112040040-3) и при частичной поддержке РФФИ (проект № 15-04-03341).

### Литература

1. Биоиндикация экологического состояния равнинных рек / Под ред. О.В. Бухарина, Г.С. Розенберга. – М.: Наука, 2001. – 403 с.

2. *Birk S., Bonne W., Borja A., Brucet S., Courrat A., Poikane S., Solimini A., van de Bund W., Zampoukas N., Hering D.* Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive // *Ecol. Indic.* – 2012. – V. 18. – P. 31–41. – doi: 10.1016/j.ecolind.2011.10.009.
3. *Pander J., Geist J.* Ecological indicators for stream restoration success // *Ecol. Indic.* – 2013. – V. 30. – P. 106–118. – doi: 10.1016/j.ecolind.2013.01.039.
4. *Barinova S.* Essential and practical bioindication methods and systems for the water quality assessment // *Int. J. Environ. Sci. Nat. Resour.* – 2017. – V. 2, No 3. – Art. 555588, P. 0079–089. – doi: 10.19080/IJESNR.2017.02.555588.
5. *Розенберг Г.С., Павлов Д.С., Захаров В.М., Гелашивили Д.Б., Шитиков В.К.* Биомониторинг для устойчивого эколого-экономического развития территорий Волжского бассейна // *Экология и промышленность России.* – 2010. – № 11. – С. 4–9.
6. *Barbour M.T., Stribling J.B.* Use of habitat assessment in evaluating the biological integrity stream communities // *Proc. Symp. "Biological Criteria: Research and Regulation"*. Dec. 12–13, 1990. Hyatt Regency Crystal City, Arlington, Virginia. – Washington, D.C.: U. S. Environ. Prot. Agency, 1991. – P. 25–38.
7. *Leeds-Harrison P.B., Quinton J.N., Walker M.J. Harrison K.S., Tyrrel S.F., Morris J., Mills H.T.* Buffer zones in headwater catchments: MAFF-English Nature Buffer Zone project CSA 2285. – Silsoe: Cranfield Univ., 1996. – 22 p.
8. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // *Off. J. Eur. Communities.* – 2000. – Dec. 22. – L 327, P. 1–73.
9. *Johnson R.K.* Defining reference condition and setting class boundaries in ecological monitoring and assessment: REFCOND background document. – Uppsala: Swedish Univ. of Agric. Sci., 2001. – 13 p.
10. *Kaika M.* The Water Framework Directive: A new directive for a changing social, political and economic European framework // *Eur. Plann. Stud.* – 2003. – V. 11, No 3. – P. 229–316. – doi: 10.1080/09654310303640.
11. *Бухарин О.В., Захаров В.М., Зинченко Т.Д., Немцева Н.В., Розенберг Г.С., Шитиков В.К.* Методы биомониторинга для оценки состояния антропогенно-нагруженной равнинной реки // *Экология и промышленность России.* – 2010. – № 11. – С. 10–15.
12. *Головатюк Л.В., Зинченко Т.Д.* Биотические индексы и метрики в оценке качества воды малых рек Нижнего Поволжья (на примере рек Байтуган, Камышла, Сосновка) // Особенности пресноводных экосистем малых рек Волжского бассейна / Под ред. Г.С. Розенберга, Т.Д. Зинченко. – Тольятти: Кассандра, 2011. – С. 160–170.
13. *Розенберг Г.С.* Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию. – Тольятти: Ин-т экологии Волжского бассейна РАН, 2009. – 476 с.
14. *Семенченко В.П., Разлуцкий В.И.* Экологическое качество поверхностных вод. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 329 с.
15. *Семенченко В.П., Мороз М.Д.* Сравнительный анализ биотических индексов в системе мониторинга текущих вод биосферного заповедника // *Водные ресурсы.* – 2005. – Т. 32, № 2. – С. 223–226.
16. *Whittier T.R., Hughes R.M., Stoddard J.L., Lomnický G.A., Peck D.V., Herlihy A.T.* A structured approach for developing indices of biotic integrity: Three examples from streams and rivers in the western USA // *Trans. Am. Fish. Soc.* – 2007. – V. 136, No 3. – P. 718–735. – doi: 10.1577/T06-128.1.
17. *Абакумов В.А., Тальских В.Н., Попченко В.И., Булгаков Г.П., Свирская Н.Л., Кринева С.В., Попченко И.И., Семин В.А., Хромов В.М., Распопов И.М., Марголина Г.Л.,*

- Воронова Л.Д., Пушкарь И.Н.* Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – 320 с.
18. *Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
  19. *Семенченко В.П.* Принципы и системы биоиндикации текучих вод. – Минск: Орех, 2004. – 125 с.
  20. *Зинченко Т.Д., Розенберг Г.С.* Большие проблемы малых рек // Самарская Лука. – 2012. – Т. 21, № 4. – С. 209–215.
  21. *Зинченко Т.Д.* Унифицированные методы для оценки качества поверхностных вод Волжского бассейна // Сб. тр. VIII Междунар. конгресса «Чистая вода». – Казань: Новое знание, 2017. – С. 119–122.
  22. *Матвеев В.И., Горелов М.С., Рыбин Б.А.* Памятники природы Куйбышевской области. – Куйбышев: Куйбышев. кн. изд-во, 1986. – 156 с.
  23. Ульяновско–Байтуганское междуречье // Реестр особо охраняемых природных территорий регионального значения Самарской области. – Самара: Экотон, 2010. – С. 96–98.
  24. *Промахова Е.В., Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Абросимова Э.В., Белозеров Е.В.* Особенности гидрологического режима рек лесостепной зоны бассейна Волги на примере Кондурчи и Байтугана в период экстремального маловодья // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. – 2017. – № 5. – С. 81–89.
  25. Методические рекомендации по сбору и определению зообентоса при гидробиологических исследованиях водотоков Дальнего Востока России: Методическое пособие / Отв. ред. Т.М. Тиунова. – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 95 с.
  26. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. – М.: Наука, 1975. – 240 с.
  27. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – Ростов н/Д, 2002. – 54 с.
  28. *Woodiwiss F.S.* The biological system of stream classification used by the Trent Board // Chem. Ind. – 1964. – V. 11. – P. 443–447.
  29. *Hawkes H.A.* Origin and development of the biological monitoring working party score system // Water Res. – 1997. – V. 32, No 3. – P. 964–968. – doi: 10.1016/S0043-1354(97)00275-3.
  30. AFNOR NF T90-350. Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). – Décembre, 1992.
  31. *Goodnight C.Y., Whitley L.S.* Oligochaetes as indicators of pollution // Proc. 15th Ind. Waste Conf. (Eng. Ext. Ser. V. 106). – Purdue Univ., 1961. – P. 139–142.
  32. *Балушкина Е.В.* Функциональное значение личинок хирономид в континентальных водоемах. – Л.: Наука, 1987. – 179 с.
  33. *Shannon C.E., Weaver W.* The Mathematical Theory of Communication. – Urbana: Univ. of Ill. Press, 1949. – 117 p.
  34. *Яковлев В.А.* Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (научно-практические рекомендации). – Апатиты: Изд-во Кол. науч. центра РАН, 1988. – 27 с.
  35. *Wallace J.B., Grubaugh J.W., Whiles M.R.* Biotic indices and stream ecosystem processes: Results from an experimental study // Ecol. Appl. – 1996. – V. 6, No 1. – P. 140–151. – doi: 10.2307/2269560.
  36. *Семенченко В.П., Мороз М.Д., Тищиков И.Г.* Использование структурных показателей сообществ макрозообентоса для биоиндикации качества текучих вод // Гидробиол. журн. – 2006. – Т. 42, № 5. – С. 57–65.

37. *Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В.* Структура реофильных сообществ макрозообентоса малой реки Байтуган (бассейн Нижней Волги) // Изв. СамНЦ РАН. – 2007. – Т. 9, № 4. – С. 1020–1035.
38. *Cota L., Goulard M., Moreno P., Callisto M.* Rapid assessment of river water quality using an adapted BMWP index: A practical tool to evaluate ecosystem health // Verh. – Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. – 2002. – Bd. 28, H. 4. – S. 1713–1716. – doi: 10.1080/03680770.2001.11901915.
39. *Duran M.* Monitoring water quality using benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters of Behzat Stream in Turkey // Pol. J. Environ. Stud. – 2006. – V. 15, No 5. – P. 709–717.
40. *Rohasliney H., Jackson D.C.* Lignite mining and stream channelization influences on aquatic macroinvertebrate assemblages along the Natchez Trace Parkway, Mississippi, USA // Hydrobiologia. – 2008. – V. 598, No 1. – P. 149–162. – doi: 10.1007/s10750-007-9147-5.

Поступила в редакцию  
25.03.2019

---

**Головатюк Лариса Владимировна**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии малых рек

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН

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

E-mail: [gollarisa@mail.ru](mailto:gollarisa@mail.ru)

**Зинченко Татьяна Дмитриевна**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии малых рек, и.о. заведующего лабораторией экологии малых рек

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН

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

E-mail: [zinchenko.tdz@yandex.ru](mailto:zinchenko.tdz@yandex.ru)

---

ISSN 2542-064X (Print)  
ISSN 2500-218X (Online)

**UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI**  
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2020, vol. 162, no. 1, pp. 134–150

---

doi: 10.26907/2542-064X.2020.1.134-150

**Biotic Indices in Water Quality Assessment for Reference Rivers:  
A Comparative Analysis of Bioindication Indices of the Baitugan River  
(High Transvolga Region)**

*L.V. Golovatyuk\**, *T.D. Zinchenko\*\**

*Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of Volga River Basin RAS,  
Togliatti, 445003 Russia*

E-mail: \*[gollarisa@mail.ru](mailto:gollarisa@mail.ru), \*\*[zinchenko.tdz@yandex.ru](mailto:zinchenko.tdz@yandex.ru)

Received March 25, 2019

**Abstract**

The comparative analysis of biotic indices and parameters was performed for assessing the water quality of small rivers. The small Baitugan River in the forest–steppe zone of the High Transvolga Region was studied as part of the environmental monitoring and singled out as a reference river based on its

hydrochemical parameters. Using the specific combinatorial index of water pollution, it was found that the water quality of the Baitugan River at all reference sites corresponds to class II (slightly polluted). The methods and metrics of the EU Framework Water Directive (WFD) and the methods that are commonly applied in Russia were used for comparative analysis of the biotic indices. The statistical analysis of the indicator significance of the studied indices showed that the *TBI* (Trent Biotic Index) and the *BMWP* (Biological Monitoring Working Party Index) indices are mostly effective for bioindication due to their low variability in water quality assessment and consistency with hydrochemical analysis. These indices can be used for the purposes of hydrobiological monitoring of small rivers in the forest–steppe zone of the Lower Volga River basin.

**Keywords:** small river, reference site, macrozoobenthos, bioindication, biotic indices, EU Water Framework Directive

**Acknowledgments.** The work was performed within the framework of the state assignment “Assessment of modern biodiversity and forecast of its changes for the Volga River basin ecosystems under the conditions of their natural and anthropogenic transformation” (AAAA17-117112040040-3). The study was supported in part by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 15-04-03341).

### Figure Captions

Fig. 1. Schematic map of the reference sites of the Baitugan River.

Fig. 2. Abundance (*a*) and biomass (*b*) ratio of macrozoobenthic taxa at the sites of the Baitugan River: 1 – Oligochaeta; 2 – Mollusca; 3 – Crustacea; 4 – Plecoptera; 5 – Ephemeroptera; 6 – Hemiptera; 7 – Trichoptera; 8 – Coleoptera; 9 – Chironomidae; 10 – other Diptera; 11 – other (Hirudinea, Hydrachnidia, Aranei).

Fig. 3. Biotic indices and parameters at the sites of the Baitugan River in June 2006 and July 2010: *H* – bit/ind., *G-WI* – %, other indices and metrics – scores.

### References

1. *Bioindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya ravninnykh rek* [Bioindication of the Ecological Status of Lowland Rivers]. Bukharin O.V., Rozenberg G.S. (Eds.). Moscow, Nauka, 2001. 403 p. (In Russian)
2. Birk S., Bonne W., Borja A., Brucet S., Courrat A., Poikane S., Solimini A., van de Bund W., Zampoukas N., Hering D. Three hundred ways to assess Europe’s surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecol. Indic.*, 2012, vol. 18, pp. 31–41. doi:10.1016/j.ecolind.2011.10.009.
3. Pander J., Geist J. Ecological indicators for stream restoration success. *Ecol. Indic.*, 2013, vol. 30, pp. 106–118. doi: 10.1016/j.ecolind.2013.01.039.
4. Barinova S. Essential and practical bioindication methods and systems for the water quality assessment. *Int. J. Environ. Sci. Nat. Resour.*, 2017, vol. 2, no. 3, art. 555588, pp. 0079–089. doi: 10.19080/IJESNR.2017.02.555588.
5. Rozenberg G.S., Pavlov D.S., Zakharov V.M., Gelashvili D.B., Shitikov V.K. Biomonitoring for sustainable ecological and economic development of the Volga River basin territories. *Ekol. Prom. Ross.*, 2010, no. 11, pp. 4–9. (In Russian)
6. Barbour M.T., Stribling J.B. Use of habitat assessment in evaluating the biological integrity stream communities. *Proc. Symp. “Biological Criteria: Research and Regulation”. Dec. 12–13, 1990. Hyatt Regency Crystal City, Arlington, Virginia.* Washington, D.C., U. S. Environ. Prot. Agency, 1991, pp. 25–38.
7. Leeds-Harrison P.B., Quinton J.N., Walker M.J. Harrison K.S., Tyrrel S.F., Morris J., Mills H.T. *Buffer zones in headwater catchments: MAFF-English Nature Buffer Zone project CSA 2285.* Silsoe, Cranfield Univ., 1996. 22 p.
8. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Off. J. Eur. Communities*, Dec. 22, 2000, L 327, pp. 1–73.
9. Johnson R.K. Defining reference condition and setting class boundaries in ecological monitoring and assessment: REFCOND background document. Uppsala, Swedish Univ. of Agric. Sci., 2001. 13 p.

10. Kaika M. The Water Framework Directive: A new directive for a changing social, political and economic European framework. *Eur. Plann. Stud.*, 2003, vol. 11, no. 3, pp. 229–316. doi: 10.1080/09654310303640.
11. Bukharin O.V., Zakharov V.M., Zinchenko T.D., Nemtseva N.V., Rozenberg G.S., Shitikov V.K. Biomonitoring methods for assessing the state of an anthropogenically loaded river. *Ekol. Prom. Ross.*, 2010, no. 11. pp. 10–15. (In Russian)
12. Golovatyuk L.V., Zinchenko T.D. Biotic indices and metrics in assessing the water quality of small rivers of the Lower Volga region (using the example of the Baitugan River, Kamyshla River, and Sosnovka River). In: *Osobennosti presnovodnykh ekosistem malyykh rek Volzhskogo basseina* [Freshwater Ecosystems of Small Rivers in the Volga River Basin]. Tolyatti, Kassandra, 2011, pp. 160–170. (In Russian)
13. Rozenberg G.S. *Volzhskii bassein: na puti k ustoichivomu razvitiyu* [The Volga River Basin: On the Way to Sustainable Development]. Tolyatti, Inst. Ekol. Volzh. Basseina Ross. Akad. Nauk, 2009. 476 p. (In Russian)
14. Semenchenko V.P., Razlutskiy V.I. *Ekologicheskoe kachestvo poverkhnostnykh vod* [Ecological Quality of Surface Waters]. Minsk, Belarus. Navuka, 2011. 329 p. (In Russian)
15. Semenchenko V.P., Moroz M.D. Comparative analysis of biotic indices in the monitoring system of running waters in a biosphere reserve. *Vodn. Resur.*, 2006, vol. 32, no. 2, pp. 223–226. (In Russian)
16. Whittier T.R., Hughes R.M., Stoddard J.L., Lomnický G.A., Peck D.V., Herlihy A.T. A structured approach for developing indices of biotic integrity: Three examples from streams and rivers in the western USA. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 2007, vol. 136, no. 3, pp. 718–735. doi: 10.1577/T06-128.1.
17. Abakumov V.A., Tal'skikh V.N., Popchenko V.I., Bulgakov G.P., Svirskaya N.L., Krineva S.V., Popchenko I.I., Semin V.A., Khromov V.M., Raspopov I.M., Margolina G.L., Voronova L.D., Pushkar' I.N. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* [A Handbook on Hydrobiological Monitoring of Freshwater Ecosystems]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 1992. 320 p. (In Russian)
18. Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. *Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoi identifikatsii* [Quantitative Hydroecology: Methods of System Identification]. Tolyatti, IEVB Ross. Akad. Nauk, 2003. 463 p. (In Russian)
19. Semenchenko V.P. *Printsipy i sistemy bioindikatsii tekuchikh vod* [Principles and Systems of Bioindication of Flowing Waters]. Minsk, Orekh, 2004. 125 p. (In Russian)
20. Zinchenko T.D., Rozenberg, G.S. Big problems of small rivers. *Samar. Luka*, 2012, vol. 21, no. 4, pp. 209–215. (In Russian)
21. Zinchenko T.D. Unified methods for assessing the quality of surface waters of the Volga River basin. *Sbornik trudov VIII Mezhdunarodnogo Kongressa "Chistaya voda"* [Proc. VIII Int. Congr. "Pure Water"]. Kazan, Nov. Znanie, 2017, pp. 119–122. (In Russian)
22. Matveev V.I., Gorelov M.S., Rybin B.A. *Pamyatniki prirody Kuibyshevskoi oblasti* [Natural Monuments of the Kuybyshev Region]. Kuybyshev, Kn. Izd., 1986. 156 p. (In Russian)
23. Ulyanovsk–Baitugan interfluvial area. In: *Reestr osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii regional'nogo znacheniya Samarskoi oblasti* [The Register of Regional Protected Areas of the Samara Region]. Samara, Ekoton, 2010, pp. 96–98. (In Russian)
24. Promakhova E.V., Zinchenko T.D., Golovatyuk L.V., Abrosimova E.V., Belozherov E.V. Hydrological conditions of rivers in the forest-steppe zone of the Volga River basin during the extreme water shortage (case study of the Kondurcha and Baitugan rivers). *Vestn. Mosk. Gos. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2017, no. 5, pp. 81–89. (In Russian)
25. *Metodicheskie rekomendatsii po sboru i opredeleniyu zoobentosa pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh vodotokov Dal'nego Vostoka Rossii: Metodicheskoe posobie* [Methodical Recommendations on Sampling and Identification of Zoobenthos in Hydrobiological Studies of Watercourses of the Russian Far East: A Study Guide]. Tiunova T.M. (Ed.). Moscow, Izd. VNIRO, 2003. 95 p. (In Russian)
26. *Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov* [Methods for studying Biogeocenoses of Inland Water Bodies]. Moscow, Nauka, 1975. 240 p. (In Russian)
27. The method of integrated assessment of the degree of surface water contamination based on hydrochemical parameters. RD 52.24.643-2002. Rostov-on-Don, 2002. 54 p. (In Russian)



28. Woodiwiss F.S. The biological system of stream classification used by the Trent Board. *Chem. Ind.*, 1964, vol. 11, pp. 443–447.
29. Hawkes H.A. Origin and development of the biological monitoring working party score system. *Water Res.*, 1997, vol. 32, no. 3, pp. 964–968. doi: 10.1016/S0043-1354(97)00275-3.
30. AFNOR NF T90-350. Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). Décembre, 1992. (In French)
31. Goodnight C.J., Whitley L.S. Oligochaetes as indicators of pollution. *Proc. 15th Ind. Waste Conf. Eng. Ext. Ser. Vol. 106. Purdue Univ.*, 1961, pp. 139–142.
32. Balushkina E.V. *Funktsional'noe znachenie lichinok khironomid v kontinental'nykh vodoemakh* [Functional Role of Chironomid Larvae in Continental Water Bodies]. Leningrad, Nauka, 1987. 179 p. (In Russian)
33. Shannon C.E., Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, Univ. of Ill. Press, 1949. 117 p.
34. Yakovlev V.A. *Otsenka kachestva poverkhnostnykh vod Kol'skogo Severa po gidrobiologicheskim pokazatelyam i dannym biotestirovaniya (prakticheskie rekomendatsii)* [Assessment of Surface Water Quality in the Kola North by Hydrobiological Characteristics and Data of Biotesting (Practical Recommendations)]. Apatity, Izd. Kol'sk. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk, 1988. 27 p. (In Russian)
35. Wallace J.B., Grubaugh J.W., Whiles M.R. Biotic indices and stream ecosystem processes: Results from an experimental study. *Ecol. Appl.*, 1996, vol. 6, no. 1, pp. 140–151. doi: 10.2307/2269560.
36. Semenchenko V.P., Moroz M.D., Tischikov I.G. Using the structural parameters of macrozoobenthic communities for bioindication of the quality of flowing waters. *Gidrobiol. Zh.*, 2006, vol. 42, no. 5, pp. 57–65. (In Russian)
37. Zinchenko T.D., Golovatyuk L.V. Structure of rheophilic macrozoobenthos communities of the small Baitugan River (Lower Volga River basin). *Izv. Samar. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2007, vol. 9, no. 4, pp. 1020–1035. (In Russian)
38. Cota L., Goulard M., Moreno P., Callisto M. Rapid assessment of river water quality using an adapted BMWP index: A practical tool to evaluate ecosystem health. *Verh. – Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, 2002, Bd. 28, H. 4, S. 1713–1716. doi: 10.1080/03680770.2001.11901915.
39. Duran M. Monitoring water quality using benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters of Behzat Stream in Turkey. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2006, vol. 15, no. 5, pp. 709–717.
40. Rohasliney H., Jackson D.C. Lignite mining and stream channelization influences on aquatic macroinvertebrate assemblages along the Natchez Trace Parkway, Mississippi, USA. *Hydrobiologia*, 2008, vol. 598, no. 1, pp. 149–162. doi: 10.1007/s10750-007-9147-5.

**Для цитирования:** Головатюк Л.В., Зинченко Т.Д. Биотические идентификаторы в оценке качества воды эталонной реки: сравнительный анализ биоиндикационных индексов реки Байтуган (Высокое Заволжье) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2020. – Т. 162, кн. 1. – С. 134–150. – doi: 10.26907/2542-064X.2020.1.134-150.

**For citation:** Golovatyuk L.V., Zinchenko T.D. Biotic indices in water quality assessment for reference rivers: A comparative analysis of bioindication indices of the Baitugan River (High Transvolga Region). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2020, vol. 162, no. 1, pp. 134–150. doi: 10.26907/2542-064X.2020.1.134-150. (In Russian)