

УДК 574.587

Л. В. Яныгина^{1,2}, А. А. Евсеева³**ИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРНЫХ ВОДОТОКОВ
АЛТАЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ВИДОВОГО
РАЗНООБРАЗИЯ МАКРОБЕСПОЗВОНОЧНЫХ⁴**

Проанализированы показатели видового разнообразия макробеспозвоночных на различных участках малой горной реки Брексы (Юго-Западный Алтай), принимающей дренажные воды АО «Казцинк». Отмечено статистически значимое снижение видового богатства, индексов видового разнообразия, численности и биомассы зообентоса ниже зоны поступления дренажных вод по сравнению с фоновым участком. Максимальные значения коэффициента корреляции показателей видового разнообразия с содержанием в воде цинка отмечены для индекса Маргалефа ($r = -0,65$) и видового богатства ($r = -0,71$).

Ключевые слова: видовое разнообразие; тяжелые металлы; зообентос.

Изучение особенностей изменения видового разнообразия под влиянием различных природных и антропогенных факторов лежит в основе познания механизмов устойчивости экосистем, разработки эффективных методов управления природными системами.

Видовое разнообразие тесно связано со средой обитания организмов: оно возрастает с увеличением количества различных местообитаний (пространственной неоднородности), с повышением стабильности условий обитания во временном аспекте, с увеличением количества и разнообразия трофических ресурсов и достигает максимальных значений при оптимальном соотношении различных факторов [3, 6, 7]. Антропогенная трансформация среды обитания, как правило, приводит к снижению видового богатства экосистем, доминированию отдельных толерантных видов, снижению выравненности обилия отдельных видов и, соответственно, к снижению индексов видового разнообразия. Однако включение показателей видового разнообразия в системы экологического мониторинга водных объектов затруднено сложностью реакции биосистем на изменения условий среды, так как биологический эффект от внешнего воздействия зависит не только от силы воздействия, но и от структурно-функциональных и пространственно-временных характеристик биотических систем [6]. В связи с этим возникает необходимость предварительных исследований особенностей сообществ и их реакций на антропогенные воздействия для выбора показателей,

⁴ Работа выполнена при поддержке бюджетного проекта ИВЭП СО РАН.

наиболее значимо отражающих экологическое состояние водных объектов. Кроме того, особенности расчета различных индексов разнообразия могут определять их различия в оценке некоторых структурных характеристик сообществ.

Цель данной работы — изучить особенности динамики различных показателей видового разнообразия на техногенно трансформированных участках горных водотоков Алтая и оценить возможность их использования для индикации изменений экологического состояния бентосных сообществ при загрязнении рек тяжелыми металлами.

Материал и методика исследований. Материал для данной работы собран в р. Брекса, малой реке Юго-Западного Алтая, притоке р. Ульба (бассейн р. Иртыш). Река протекает в Восточно-Казахстанской области Казахстана ($50^{\circ}19'34''\text{N}$, $83^{\circ}32'43''\text{E}$). Длина р. Брекса 22,8 км, площадь водосбора 150 км². Пробы зообентоса р. Брекса отбирали на двух станциях: на 6,8 км выше г. Риддера (фоновый участок) и в черте г. Риддера ниже сброса дренажных вод АО «Казцинк» (импактная зона) ежемесячно с апреля по октябрь 2006—2007 гг.

Пробы зообентоса отбирали гидробиологическим скребком с режущей кромкой шириной 18 см с поверхности грунта полосой в 1 м пятикратно, площадь облова при этом составляла 0,9 м². Животных выбирали в чашке Петри под биноклем и помещали в пенициллиновые флаконы с 4%-ным раствором формалина. В лаборатории беспозвоночных определяли до вида (кроме хирономид, идентифицированных до семейства, и водных клещей, идентифицированных до надсемейства) и взвешивали.

Одновременно с бентосными сборами отобраны пробы воды для гидрохимического анализа, который выполнен в комплексной лаборатории Восточно-Казахстанского центра гидрометеорологии. Вода реки гидрокарбонатного типа, слабощелочная, малой минерализации (42—168 мг/л). В 2006 г. на фоновом створе выше г. Риддера среднегодовые концентрации цинка составляли $2,1 \pm 1,3$ мкг/л, в 2007 г. — $7,7 \pm 2,4$ мкг/л. В нижнем течении река принимает дренажные воды «Казцинка», расположенного в промышленной зоне г. Риддер. Ниже зоны поступления дренажных вод качество воды ухудшается до VII класса (чрезвычайно грязные); концентрация цинка в воде этого участка в 2006 г. в среднем составляла $165,1 \pm 23,6$ мкг/л, в 2007 г. — $297,0 \pm 163,4$ мкг/л, максимальные значения достигали 992 мкг/л (август 2007 г.).

Для оценки экологического состояния горных водотоков по зообентосу были рассчитаны биотические индексы, наиболее распространенные в системах экологического мониторинга рек: *Biological Monitoring Working Party Index (BMWP)*; *Average Score Per Taxon Index (ASPT)*; *Family Biotic Index (FBI)*; количество видов веснянок, поденок и ручейников (*EPT*), а также модифицированный для Восточного Казахстана биотический индекс р. Трент (*BIM*). Видовое разнообразие бентосных сообществ оценивали с использованием следующих показателей [4, 5, 9]: индекс Шеннона (*H'*), Маргалефа (*d*), Менхеника (*dM*), Пиелу (*J*), вероятность межвидовых встреч (*PIE*), числа Хилла.

Статистический анализ данных проводился с использованием программы «Statistica 6.0». Для анализа взаимосвязи количественных признаков рассчитаны ранговые корреляции по Спирмену. При сравнении выборок использовали непараметрический метод Краскела — Уоллиса.

Результаты исследований и их обсуждение

На фоновом участке р. Брекса отмечено 78 видов зообентоса. Основу донных сообществ беспозвоночных составляли личинки амфибиотических насекомых: ручейников, веснянок, поденок. По частоте встречаемости на фоновом створе доминировали веснянки *Skwala pusilla* (Klapálek), *Amphineura borealis* (Morton), поденки *Epeorus pellucidus* (Brodsky), *Neoleptophlebia chocolata* (Imanishi), *Baetis* sp., ручейники *Ceratopsyche newae* (Kolenati), *Brachycentrus americanus* (Banks), *Dicosmoecus palatus* (McLachlan), *Glossosoma altaicum* (Martynov), ракообразные *Gammarus korbuensis* Martynov и двукрылые сем. Chironomidae. Донные сообщества характеризовались высоким видовым богатством (до 22 видов в пробе), при этом в каждой пробе отмечали в среднем $13,9 \pm 5,8$ видов макробеспозвоночных (табл. 1).

Структурные характеристики донных сообществ фонового участка р. Брекса характеризовались значительной сезонной изменчивостью. Максимальные коэффициенты вариации за период исследований отмечены для численности (242%) и биомассы (132%) (см. табл. 1).

На створе р. Брекса, расположенном ниже сбросов «Казцинка», в составе зообентоса отмечено 39 видов. По частоте встречаемости на створе доминировали личинки двукрылых сем. Chironomidae. Донные сообщества бедны в таксономическом отношении: в каждой пробе отмечали от 3 до 9 видов зообентоса, в среднем видовое богатство составляло $5,4 \pm 2,5$ вида в пробе (см. табл. 1). Биомасса зообентоса не превышала $1,2 \text{ г/м}^2$, при этом максимальные значения отмечены осенью. В импактной зоне отмечено статистически значимое снижение как видового богатства ($H = 15,1; p = 0,0001$), так и значений биомассы донных сообществ ($H = 17,1; p < 0,0001$) по сравнению с фоновым участком.

Снижение общего количества видов в импактной зоне произошло преимущественно за счет случайных видов: встречаемость 85% исчезнувших видов не превышала 25% и на фоновом створе. Изменился и состав комплекса доминирующих видов: два вида (*G. altaicum* и *N. chocolata*), входившие в состав доминантов по частоте встречаемости на фоновых участках, в импактной зоне обнаружены не были, еще у пяти широко распространенных видов (*E. pellucidus*, *A. borealis*, *G. korbuensis*, *D. palatus*, *C. newae*) отмечено снижение частоты встречаемости. Кроме того, для шести видов из этой группы: *A. borealis* ($H = 4,5; p = 0,033$), *E. pellucidus* ($H = 11,1; p = 0,001$), *D. palatus* ($H = 7,1; p = 0,008$), *G. altaicum* ($H = 7,7; p = 0,005$), *G. korbuensis* ($H = 4,9; p = 0,027$), *N. chocolata* ($H = 7,7; p = 0,006$) выявлено статистически значимое снижение численности в импактной зоне по сравнению с фоном.

1. Значения структурных характеристик донных сообществ р. Брекса на фоновом участке (Брекса 1) и ниже «Казцинка» (Брекса 2) в 2006—2007 гг.

Показатели	Брекса 1 (n = 14)			Брекса 2 (n = 14)			H	p
	M	SD	CV	M	SD	CV		
<i>S</i>	13,86	5,79	0,42	5,43	2,50	0,46	15,06	0,0001
<i>N</i>	373,65	903,61	2,42	25,40	18,93	0,75	12,19	0,0005
<i>B</i>	2,80	3,70	1,32	0,29	0,33	1,14	17,10	< 0,0001
<i>H'</i>	2,66	0,74	0,28	1,85	0,63	0,34	7,86	0,0051
<i>d</i>	2,82	1,22	0,43	1,45	0,66	0,45	11,25	0,0008
<i>dM</i>	1,22	0,47	0,38	0,97	0,42	0,43	2,30	0,1295
<i>PIE</i>	0,77	0,13	0,17	0,67	0,13	0,19	4,28	0,0387
<i>J'</i>	0,74	0,16	0,21	0,81	0,17	0,21	2,30	0,1295

Примечание. *S* — количество видов; *N* — численность, экз/м²; *B* — биомасса, г/м²; *H'* — индекс Шеннона; *d* — индекс Маргалефа; *dM* — индекс Менхиника; *J'* — индекс Пиелу; *PIE* — вероятность межвидовых встреч; *M* — среднее арифметическое; *SD* — стандартное отклонение; *CV* — коэффициент вариации; *H* — критерий Краскела-Уоллиса; *p* — уровень значимости.

Одним из критериев возможности использования биоиндикационного показателя для оценки качества среды является его невысокая вариабельность на фоновых створах и значимые различия при сравнении с загрязненными участками [10]. Все индексы видового разнообразия имели более низкие коэффициенты вариации, чем показатели численности и биомассы, как на фоновых участках, так и в импактной зоне. Несмотря на значительную сезонную вариабельность некоторых показателей, все рассчитанные характеристики донных сообществ, кроме индексов Менхиника и Пиелу, статистически значимо различались при сравнении фоновых участков с импактной зоной (см. табл. 1), что свидетельствует о существенной трансформации донных сообществ под влиянием загрязнения.

При оценке экологического состояния водотоков различных регионов мира по биологическим показателям основное внимание традиционно уделяется расчету и анализу биотических индексов [11, 12, 13, 14]. Биотические индексы, а также рассчитанные на их основе комбинированные показатели, чутко реагируют на структурные перестройки сообществ при загрязнении и являются основными индикаторами экологического состояния водотоков. Нами были рассчитаны наиболее часто используемые в системах экологического мониторинга разных стран биотические индексы и построены корреляционные матрицы их соответствия показателям видового разнообразия (табл. 2). Наибольшие значения коэффициента корреляции Спирмена с биотическими индексами отмечены для индексов Шеннона ($r = 0,66—0,73$) и Маргалефа ($r = 0,78—0,85$), значительно ниже — для индексов Пиелу ($r = 0,39—0,45$) и *PIE* ($r = 0,44—0,53$), минимальные — для индекса Менхиника ($r = 0,31—0,45$). При этом как биотические индексы, так и показатели разнообразия более тесно коррелировали с видовым богатством, чем с численностью и биомассой. Учитывая различия подходов, используемых при

2. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена биотических индексов и индексов разнообразия с содержанием в воде цинка

	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>B</i>	<i>H'</i>	<i>d</i>	<i>dM</i>	<i>PIE</i>	<i>J'</i>	<i>EPT</i>	<i>BIM</i>	<i>BMWP</i>	<i>Zn</i>
<i>S</i>	1,00											
<i>N</i>	0,87	1,00										
<i>B</i>	0,82	0,76	1,00									
<i>H'</i>	0,76	0,56	0,45	1,00								
<i>d</i>	0,90	0,60	0,67	0,86	1,00							
<i>dM</i>	0,46	0,05	0,17	0,78	0,77	1,00						
<i>PIE</i>	0,56	0,31	0,21	0,94	0,75	0,81	1,00					
<i>J'</i>	-0,36	-0,45	-0,49	0,24	-0,11	0,32	0,43	1,00				
<i>EPT</i>	0,93	0,84	0,76	0,73	0,84	0,42	0,53	-0,39	1,00			
<i>BIM</i>	0,94	0,90	0,80	0,66	0,78	0,31	0,44	-0,45	0,95	1,00		
<i>BMWP</i>	0,94	0,81	0,79	0,70	0,85	0,45	0,51	-0,44	0,97	0,95	1,00	
<i>Zn</i>	-0,71	-0,59	-0,70	-0,56	-0,65	-0,29	-0,47	0,17	-0,68	-0,70	-0,68	1,00

П р и м е ч а н и е. Жирным шрифтом выделены статистически значимые ($p < 0,05$) значения коэффициента корреляции.

расчете биотических индексов и индексов разнообразия, эти две группы биологических показателей можно рассматривать как взаимодополняющие и использовать их совместно при экологическом мониторинге водных объектов.

Для оценки возможности использования индексов разнообразия при индикации состояния бентосных сообществ, а также выбора индексов, которые могут быть использованы в биомониторинге окружающей среды, рассчитаны коэффициенты корреляции приведенных выше индексов разнообразия с содержанием в воде р. Брекса приоритетного загрязняющего вещества — цинка. Среди выбранных гидробиологических показателей максимальные значения коэффициента корреляции с содержанием цинка отмечены для видового богатства, биомассы и модифицированного индекса Вудивисса (*BIM*). Среди показателей, характеризующих видовое разнообразие макробеспозвоночных, максимальные коэффициенты корреляции отмечены для видового богатства ($r = -0,71$) и индекса Маргалефа ($r = -0,65$) (табл. 2).

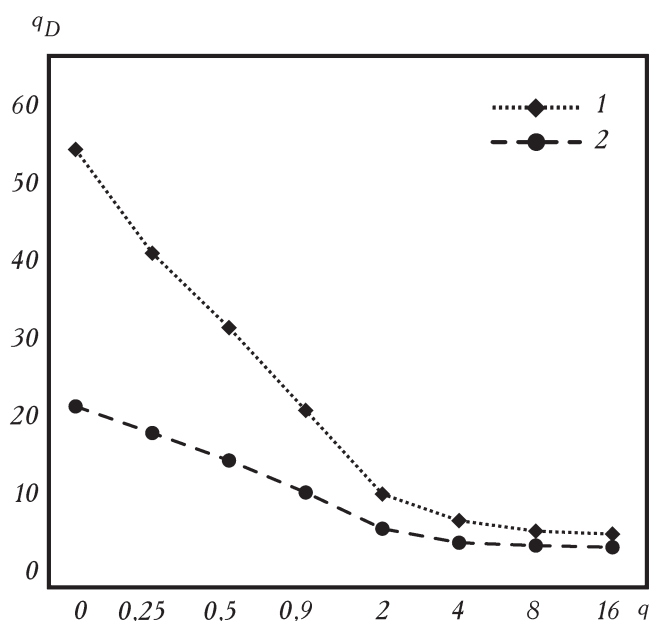
Несмотря на использование при расчете индексов разнообразия одних и тех же данных (количество видов и численность особей), выбор индекса может существенно влиять на оценку разнообразия. В практике как отечественных [2], так и зарубежных [16] гидробиологических исследований для оценки экологического состояния водоемов наиболее часто используется индекс Шеннона. Индекс Шеннона успешно применялся и в качестве дополнительного показателя при оценке экологического состояния водотоков Алтае-Саянской горной страны [1, 8, 10]. Большой объем накопленной ин-

формации по оценке качества воды разнотипных водоемов с использованием индекса Шеннона дает ценный сравнительный материал, расширяющий возможности анализа и интерпретации полученных данных. С другой стороны, в работах, целью которых было сравнение ряда индексов видового разнообразия для выбора показателей, отражающих изменения среды обитания при загрязнении тяжелыми металлами, лучшие результаты достигнуты при использовании индекса Маргалефа. Индекс Маргалефа лучше других индексов разнообразия отражал уровень загрязнения токсичными металлами водоемов Калифорнии [19]. Индекс Маргалефа, в отличие от индекса Шеннона, коррелировал с содержанием меди в горных водотоках Китая [18]. Слабая зависимость индекса Шеннона от загрязнения водотоков тяжелыми металлами показана не только для природных вод, но и в лабораторных экспериментах [17]. Вместе с тем, при оценке уровня загрязнения водоемов органическими веществами отмечены более тесные связи гидрохимических показателей качества воды с индексом Шеннона, чем с индексом Маргалефа [15, 20].

Рассмотренные выше традиционные индексы разнообразия обладают разной чувствительностью к видам с определенной представленностью [9], что может отражаться на результатах биоиндикации. В то время как эти индексы разнообразия представляют собой точечные описания структуры сообщества, семейство обобщенных энтропий Реньи дает целый континуум индексов разнообразия, различающихся своей чувствительностью к обильным и редким видам, что позволяет получить наиболее полное представление о структуре сообщества [9]. Чувствительность индекса к видам с высокой или низкой относительной численностью определяет порядок (q): при $q = 1$ вклад видов пропорционален их относительной численности, при $q < 1$ возрастает вклад редких видов, при $q > 1$ возрастает вклад доминирующих видов. Рассчитанные нами числа Хилла являются экспоненциальной формой энтропий Реньи и представляют собой «эффективное число видов», обладающее свойствами «истинного разнообразия» [9]. Анализ чисел Хилла показал, что различия сообществ фоновой и импактной зоны р. Брекса в большей степени проявляются за счет редких видов (левая часть рисунка, при $q < 1$), чем за счет доминирующих таксонов (рисунок). Соответственно, изменение структуры донных сообществ при загрязнении р. Брекса тяжелыми металлами обусловлено прежде всего элиминацией наиболее чувствительных к этому виду воздействия видов, а не массовым развитием толерантных видов, сопровождающимся увеличением уровня доминирования, снижением выравненности распределения обилия видов макробеспозвоночных.

Выбор индекса биоразнообразия для оценки экологического состояния водоемов должен зависеть от вида воздействия, структурных характеристик донных сообществ и особенностей их реакции на ухудшение условий обитания. Для сообществ, реагирующих на загрязнение массовым развитием наиболее устойчивых видов, характерно снижение выравненности распределения обилия отдельных видов, что лучше других показателей отражает индекс видового разнообразия Шеннона. Такие изменения структуры сообществ обычно отмечаются при загрязнении водоемов органическими веществами, и для индикации этого вида воздействия, вероятно, более целесооб-

разно применение индекса Шеннона. При токсическом воздействии, в том числе и загрязнении тяжелыми металлами, особенно в случае многовидовых сообществ, отмечается снижение видового богатства, что лучше других отражает индекс Маргалефа. Расчет чисел Хилла позволяет оценивать структурные изменения сообществ, связанные и с изменениями уровня доминирования отдельных видов, и с динамикой видового богатства.



Кривые зависимости чисел Хилла (q_D) от порядка q на фоновом участке р. Брекса (1) и в импактной зоне (2).

Несмотря на широкое применение индексов видового разнообразия для оценки экологического состояния сообществ, эти показатели подвергаются критике, связанной с трудностями интерпретации полученных результатов. Дальнейшая разработка системы стресс-специфических индикаторов, возможно, послужит более широкому применению индексов разнообразия в системе экологического мониторинга водоемов.

Заключение

Дренажные воды АО «Казцинк» существенно модифицируют донные сообщества р. Брекса: значения всех рассчитанных биологических показателей, кроме индексов Менхиника и Пиелу, статистически значимо различались на участках выше и ниже зоны воздействия. Снижение видового богатства зообентоса в импактной зоне связано преимущественно с элиминацией из сообществ редко встречающихся видов. Среди широко распространенных на фоновом участке видов наибольшую чувствительность к загрязнению р. Брекса тяжелыми металлами проявили *Gammarus korbuensis*, *Ceratopsyche newae*, *Epeorus pellucidus* и *Dicosmoecus palatus*. Значения большинства рассчитанных показателей видового разнообразия (индексы Шеннона, Маргалефа, вероятности межвидовых встреч, а также видовое богатство) статистически значимо снижались в импактной зоне по сравнению с фоновым участком. Однако для включения в программу экологического мониторинга р. Брекса могут быть рекомендованы индекс Маргалефа и общее количество видов, изменения которых наиболее значимо, по сравнению

с другими показателями разнообразия, отражают изменения концентрации основных загрязняющих веществ в реке.

**

Для оцінки можливості використання показників видового різноманіття при індикації змін екологічного стану гірських водотоків досліджено донні угруповання малої гірської річки Брекси (Південно-Західний Алтай), яка приймає дренажні води АТ «Казцинк». Відмічено статистично значуще зниження видового багатства, індексів видового різноманіття, чисельності і біомаси зообентосу нижче зони надходження дренажних вод порівняно з фоновою ділянкою. Максимальні значення коефіцієнта кореляції показників видового різноманіття із вмістом у воді цинку відмічено для індекса Маргалефа ($r = -0,65$) і видового багатства ($r = -0,71$).

**

The species diversity of benthic macroinvertebrates in a small mountain river Breksa (South-Western Altai) receiving drainage waters of JSC «Kazzinc» were studied. Statistically significant decrease in species richness, species diversity, abundance and biomass of zoobenthos below the zone of drainage water inflow as compared to the background site is noted. Among the indices of species diversity the correlations between the zinc concentration in the water and both the Margalef index ($r = -0,65$) and the species richness ($r = -0,71$) were the highest.

**

1. Андрианова А.В. Биотические индексы и метрики в оценке качества воды малых рек на территории природного парка «Ергаки» (юг Красноярского края) // Сиб. экол. журн. — 2015. — Т. 22, № 3. — С. 439—451.
2. Баканов А.И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов // Биология внутренних вод. — 2000. — № 1. — С. 68—82.
3. Бигон М., Харпер Д., Таунсенг К. Экология. Особи, популяції і сообщество. — М.: Мир, 1989. — 477 с.
4. Гелашвили Д.Б., Иугин Д.И., Розенберг Г.С. и др. Степенной закон и принцип самоподобия в описании видовой структуры сообществ // Поволжский экол. журн. — 2004. — № 3. — С. 227—245.
5. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. — М.: Наука, 1982. — 287 с.
6. Протасов А.А. Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикология. — Киев, 2002. — 105 с.
7. Протасов А.А. Некоторые пути применения и оптимизации подходов Водной Рамочной Директивы ЕС в связи с оценками экологического состояния техноэкосистем // Гидробиол. журн. — 2017. — Т. 53, № 5. — С. 56—73.
8. Руднева Л.В. Структура бентосных сообществ и содержание ртути в личинках амфибиотических насекомых водотоков бассейна р. Катунь // Сиб. экол. журн. — 1997. — Т. 4, № 2. — С. 167—172.
9. Якимов В.Н., Гелашвили Д.Б., Розенберг Г.С., Кривоногов Д.М. Современные методы количественного анализа филогенетического разнообразия

- экологических сообществ // Сб. тр. Зоол. музея Моск. ун-та. — 2016. — Т. 54. — С. 72—98.
10. Яныгина Л.В. Макрозообентос как показатель экологического состояния горных водотоков // Экология. — 2017. — № 2. — С. 141—146.
 11. Bersosa F., Calderon V., Sanchez R. et al. A study of biodiversity and water quality by analysing aquatic macroinvertebrates in the Pasochoa Wildlife Refuge, Ecuador // Appl. Ecol. and Environmental Res. — 2019. — Vol. 17, N 2. — P. 4949—4956.
 12. Carter J.L., Resh V.H., Hannaford M.J. Macroinvertebrates as biotic indicators of environmental quality // Methods in stream ecology / Ed. by R. H. Hauer, G. A. Lamberti. — Burlington: Acad. Press, 2017. — P. 319—334.
 13. Chang F.-H., Lawrence J., Rios-Touma B., Resh V.H. Tolerance values of benthic macroinvertebrates for stream biomonitoring: assessment of assumptions underlying scoring systems worldwide // Environmental Monitoring and Assessment. — 2014. — Vol. 186, N 4. — P. 2135—2149.
 14. Du L.N., Jiang Y.E., Chen X.Y. A family-level macroinvertebrate biotic index for ecological assessment of lakes in Yunnan, China // Water Resources. — 2017. — Vol. 44, N 6. — P. 864—874.
 15. Flores M.J., Zafaralla M.T. Macroinvertebrate composition, diversity and richness in relation to the water quality status of Managa River, Cebu, Philippines // Philippine Science Letters. — 2012. — Vol. 5 (2). — P. 103—113.
 16. Iglesias-Rios R., Mazzoni R. Measuring diversity: looking for processes that generate diversity // Natureza & Conservação. — 2014. — Vol. 12, Iss. 2. — P. 156—161.
 17. Newman M.C., McIntosh A.W. Metal ecotoxicology: concepts & applications. — Chelsea, Michigan: Lewis Publishers, 1991. — 401 p.
 18. Qu X., Wu N.W., Tang T. et al. Effects of heavy metals on benthic macroinvertebrate communities in high mountain streams // Ann. Limnol. — 2010. — Vol. 46. — P. 291—302.
 19. Resh V.H., Jackson J.K. Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates // Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates / Ed. by D. M. Rosenberg, V. H. Resh. — New York: Chapman and Hall, 1993. — P. 195—233.
 20. Weng T.K., Chee W.B. Water quality monitoring using biological indicators in Cameron Highlands Malaysia // J. of Sust. Dev. — 2015. — Vol. 8, N 3. — P. 28—42.

¹ Институт водных и экологических проблем
СО РАН, Барнаул, РФ

² Алтайский государственный университет,
Барнаул, РФ

³ Алтайский филиал ТОО «казахский
научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства»,
Усть-Каменогорск, Казахстан

Поступила 02.09.19