

Оценка экологического качества воды в системе «река–водохранилище–река» по структурным показателям сообщества макрозообентоса и биотическим индексам

Т.П. Липинская, И.Ю. Гигиняк

*Государственное научно-производственное объединение
«Национально-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам»*

Исследованы таксономическая и трофическая структуры сообщества макрозообентоса Петровичского водохранилища (Смолевичский район, Минская обл.) и реки Волма (на входе в водохранилище, на выходе из него и на удалении) в весенний и осенний периоды. Определено экологическое качество воды по структурным показателям и биотическим индексам. Показано изменение экологического качества воды в системе «река–водохранилище–река». Установлено, что оценка экологического качества воды по структурным показателям сообщества макрозообентоса в системе «река–водохранилище–река» показывает сходные данные с оценкой по биотическим индексам. Увеличение доли собирателей и соскребаателей, а также снижение доли хищников и измельчителей показывало об увеличении загрязнения в ряду «река–водохранилище» и улучшение экологического качества воды на створе 6 ниже плотины вниз по течению. Наиболее высокие значения индексов и высокое экологическое качество воды получены для створа 1 (створ вверх по течению до подпора).

Ключевые слова: макрозообентос, оценка экологического качества воды, водохранилище, река.

Assessment of ecological quality of water in the system «river–reservoir–river» by using structural factors of macrozoobenthos community and biotic indices

T.P. Lipinskaya, I.J. Giginyak

State scientific and industrial association «Belarusian NASc national and practical center on bioresources»

The taxonomic and trophic structures of macrozoobenthos community of Petrovich's reservoir (Smolevichi district, Minsk region) and river Volma (at the entrance, at the output and over a distance) during the spring and autumn periods are investigated. The ecological quality of water is appointed by using structural factors and biotic indices. Variation of ecological quality of water in «the river–reservoir–the river» system is shown. It is established that the data of ecological quality of water by using macrozoobenthos community in «the river–reservoir–the river» system show similar data as by biotic indices. The increase of part of collectors and decrease of part of predators and grinders showed an increase of pollution in «the river–reservoir» system and improvement of ecological quality of water on the point 6 below a dam downstream. The highest values of indexes and high ecological quality of water are received for the point 1 (the point upstream up to the affluent).

Key words: macrozoobenthos, assessment of ecological water quality, reservoir, river.

Одним из важных аспектов оценки состояния водных экосистем является определение состояния гидробиоты [1]. При мониторинге пресноводных экосистем излюбленным объектом служат животные макрозообентоса [1]. По мнению многих специалистов [2–3], зообентос, как наиболее долгоживущий и стационарный компонент гидробиоценоза, четко отражает степень загрязнения водных объектов, особенно хронического.

В странах ЕС существуют различные индексы и показатели, с помощью которых оценивают качество воды. Это могут быть видовое богатство или число видов в определенных таксономических группах, структурные показатели

сообществ (таксономическая и возрастная структуры), функциональные показатели (например, выделение групп по типу питания) и собственно биотические индексы [4].

Создание водохранилищ и регулирование ими стока значительно преобразуют естественный гидрологический режим реки, что влечет за собой изменения многих других природных процессов (переформирование берегов и дна, повышение уровня грунтовых вод, всплывание торфяников, изменение характера растительности и др.).

В настоящий момент во многих странах мира проводятся исследования сообщества макрозообентоса уже существующих водохранилищ и

их влияния на структуру сообществ [1, 5], а также работы по методологии оценки экологического и гидрологического эффектов от возведения плотин и образования водохранилищ [6]. Похожие работы провел Б. Иоганзен [7] в бассейне Средней Оби.

В сообществах макрозообентоса при различных видах антропогенной нагрузки происходят изменения структурных характеристик. Трофическая структура бентоса упрощается, биоценозы заменяются на более простые, но играющие большую роль в самоочищении водоема, уменьшается доля животных с фильтрационным типом питания и увеличивается доля детритофагов, изменяется влияние хищных животных. Цель работы: выявить изменение экологического качества воды в системе «река–водохранилище–река» по структурным показателям сообщества макрозообентоса и биотическим индексам.

Материал и методы. Результаты настоящей работы являются частью исследования, выполняемого с целью изучения структурно-функциональных характеристик сообществ макрозообентоса в условиях влияния зарегулирования речного стока. Материалы были получены при проведении экспедиционных обследований системы «река–водохранилище–река» (р. Волма и Петровичское вдхр.).

Сборы бентоса проводили в весенний (апрель) и осенний (октябрь) периоды 2010 г. на реке Волма (створ 1 – вверх по течению до подпора, створ 2 – в месте подпора реки водохранилищем, створ 5 – после плотины, створ 6 – ниже плотины вниз по течению 1,3 км), а также непосредственно в самом водохранилище (створы 3 и 4).

Учитывая тот факт, что в Беларуси не существует национального протокола определения экологического качества воды, методы проведения полевых исследований и перечень определяемых параметров осуществлялись на основании международных стандартов ISO или европейского протокола, разработанного специальной программой AQEM в 2002 г.

Отбор количественных и качественных проб макрозообентоса проводили в прибрежной зоне по стандарту ISO 7828. За время исследований собрано и проанализировано 24 пробы, изучено 2323 водных насекомых (без учета качественных проб). Пищевую специализацию видов определяли, используя систему, описанную

А.В. Монаковым, а также с помощью специализированной компьютерной программы Asterix 3.0.

Для каждого створа был заполнен протокол описания ландшафта (координаты, погодные условия, ближайший населенный пункт, окружающие земли и др.), а также протокол гидрологических (тип течения, скорость течения, температура, тип субстрата и его описание, гранулометрическое описание субстрата и т.д.), гидрохимических (растворенный O_2 , pH, электропроводность) и гидробиологических (описание растительности в точках отбора проб и на берегах) параметров. Дополнительно брали пробы для лабораторного определения следующих характеристик: концентрации Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , $Fe_{общ.}$, $Cl_{св.}$.

Оценка экологического качества воды проведена с использованием четырех биотических индексов:

– Trent Biotic Index (TBI) – индекс основан на двух параметрах бентосного сообщества: общее разнообразие беспозвоночных и наличие в водоеме организмов, принадлежащих к «индикаторным» группам. Индекс TBI имеет четырехбалльную градацию и характеризует сапробность водоема [4];

– Biological Monitoring Working Party Index (BMWP) – расчет основан на сумме значений толерантности (балльной оценке) каждого семейства в пробе. Имеет пять градаций качества воды [4];

– Indice Biologique Global Normalise (IBGN) – расчет основан на общем количестве таксономических групп бентоса, даже если в группе обнаружен всего один экземпляр на пробу, и разнообразии индикаторных групп. Имеет пять градаций качества воды [4];

– Ephemeroptera+Plecoptera+Trichoptera Index (EPT) – расчет индекса основан на числе видов трех отрядов водных насекомых: Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, представители которых являются высокочувствительными видами к различного рода загрязнениям [4].

Результаты и их обсуждение. Основным типом донных отложений на изучаемых створах был в разной степени заиленный песок.

В табл. 1 приведены концентрации некоторых ионов на изучаемых створах в весенний и осенний периоды, ПДК1 (для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения) и ПДК2 (для водных объектов рыбохозяйственного назначения) [8].

**Некоторые гидрохимические характеристики на изучаемых створах
(числитель – для весны [9], знаменатель – для осени)**

Створы*	Концентрация, мг/л				
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Fe общ.	Cl св.
ПДК1	10,20	2,0	1,14	0,3	350
ПДК2	9,10	0,39	0,05	0,5	350
1	1,5/2,7	0,36/0,12	0,27/0,77	0,1/0,07	0,05/0,04
2	0,08/2,9	0,1/0,24	0,01/0,43	0,11/0	0,06/0,08
3	0,07/5,4	0,12/0,14	2,75/0,39	0,07/0,05	0,07/0,05
4	1,8/1,6	0,21/0,05	0,29/0,25	0,04/0	0,08/0,01
5	1,2/3,3	0,66/0,25	0,29/0,41	0,87/0,37	0,08/0
6	0,7/6,0	0,44/0,34	0,74/0,27	0,02/0,38	0,08/0,1

Примечание:* здесь и в табл. 2 створы: 1 – р. Волма (около 2 км до подпора), 2 – р. Волма (подпор реки водохранилищем), 3 и 4 – Петровическое вдхр., 5 – р. Волма (послеплотинная зона), 6 – р. Волма (ниже плотины вниз по течению).

Анализируя данные по имеющимся гидрохимическим показателям в целом, можно отметить, что они находились в допустимых пределах ПДК1, за исключением превышения концентрации по PO₄³⁻ на створе 3 (Петровическое вдхр.) и на створе 5 (р. Волма, после плотины) – по железу. В ряде случаев наблюдали превышения допустимых пределов ПДК2: на всех створах превышение по фосфат-иону (весной и осенью), на створах 5 и 6 р. Волма – по NH₄⁺ (весной). Эти превышения указывают на процессы гниения во время отбора проб. Таким образом, концентрации веществ не были настолько высокими, чтобы оказывать острое воздействие на различные группы гидробионтов.

Фаунистическая характеристика. Исследования структурных и функциональных характеристик макрозообентоса Петровического водохранилища, а также системы «река–водохранилище–река» в условиях антропогенного воздействия были проведены в 2010 г. [9–10].

В результате этого были описаны таксономическая и трофическая структуры макрозообентоса на створах системы и установлено:

1) на створах системы в весенний период обнаружен 51 вид макробеспозвоночных, а в осенний период – 52;

2) наибольшее относительное видовое богатство макрозообентоса весной было на створе 1 вверх по течению до подпора (39%), а осенью – на створе 1 выше подпора (42%) и створе 6 ниже плотины вниз по течению (44,2%). Для остальных створов этот показатель находится в интервале 15,7–27,5% весной и 13,4–34,6% осенью;

3) на всех створах системы Петровического вдхр., за исключением створа 3, количество ви-

дов и таксонов макрозообентоса более высокого ранга осенью было выше, чем весной;

4) в трофической структуре сообщества макрозообентоса в весенний период наблюдали резкое увеличение собирателей (60,77%) на створе 4, а также увеличение соскребаемых на створе 5. На створах р. Волма (до водохранилища) в трофической структуре сообщества макрозообентоса (в весенний период) преобладали хищники (27,29%), количество которых резко снижалось на створах водохранилища и в послеплотинной зоне (4,46 и 3,56% соответственно), и только на створе реки ниже плотины вниз по течению доля их составила 10%.

5) в осенний период в ряду «река–водохранилище» доля соскребаемых увеличивалась, а в послеплотинной зоне – резко снижалась; количество собирателей увеличивалось от подпора реки к водохранилищу (33,98–52,3%) (% от общего числа функциональных групп); процент хищников был наиболее высоким в реке на удалении от плотины (20,09%), а наименьшее количество (2,69%) отмечалось в водохранилище; количество фильтраторов уменьшалось в ряду «подпор реки–послеплотинная зона» с 13,18% до 0,14% соответственно.

Как известно, по данным Samargo et al. [11], доля собирателей и соскребаемых показывает наибольшую положительную корреляцию с величинами загрязнения, и, наоборот, доля хищников и измельчителей демонстрирует наибольшую отрицательную корреляцию. В связи с этим можно сделать предварительный вывод о том, что увеличение доли собирателей и соскребаемых, а также снижение доли хищников

и измельчителей свидетельствует об увеличении загрязнения в ряду «река–водохранилище» и улучшения экологического качества воды на створе 6 ниже плотины вниз по течению.

Как будет показано ниже, такое различие створов в системе Петровичского водохранилища по структурно-функциональным характеристикам хорошо согласуется с экологическим качеством воды, оцененном по биотическим индексам.

Биотические индексы. Различные биотические индексы характеризуются разной чувствительностью по отношению к загрязнениям и другим факторам среды [4]. В связи с этим для более объективной оценки экологического качества воды использовали ряд наиболее часто встречающихся индексов в разных странах, а также наиболее репрезентативных для оценки экологического качества рек на территории Беларуси [4, 12]. В табл. 2 приведены оценки качества воды, полученные с помощью различных биотических индексов, на исследованных створах.

Сравнение оценок на основе биотических индексов показало, что индекс ТВІ обладает очень низкой чувствительностью и показывает завышенные значения качества воды в системе «река–водохранилище–река». На всех створах этот индекс показал одинаковое хорошее качество воды, как весной, так и осенью, за исключением створа 1, где по данным ТВІ качество воды

было очень хорошим. Наиболее адекватно в соответствии с гидрохимическими и структурно-функциональными характеристиками отражали качество воды индексы BMWP, IBGN и EPT.

Для выявления оценочной пригодности индексов был проведен корреляционный анализ (табл. 3), с помощью которого сравнили сходство оценок экологического качества воды, даваемых биотическими индексами.

Для всех индексов было получено одинаковое число достоверных корреляций (при $p < 0,05$). Несмотря на то, что индекс ТВІ имеет достаточное количество достоверных корреляций, он показывает завышенные значения экологического качества воды.

В целом можно отметить, что качество воды на всех створах системы «река–водохранилище–река» в весенний период оказалось несколько ниже, чем осенью. Возможно, это связано с тем, что весной происходит поступление загрязняющих веществ с водосборной территории. Наиболее высокие значения индексов и высокое экологическое качество воды получены для створа 1 (створ вверх по течению до подпора). Экологическое качество воды в послеплотинной зоне сходно с таковым в водохранилище. Улучшение экологического качества воды происходит на створе реки ниже плотины вниз по течению.

Таблица 2

Величины биотических индексов и качество воды на створах системы Петровичского водохранилища (числитель – для весны, знаменатель – для осени)

Створы	Биотические индексы			
	ТВІ	BMWP	IBGN	EPT
1	8/9 очх/очх*	70/115 х/х	8/16 пл/х	15/13
2	7/7 х/х	74/52 х/х	11/7 п/пл	8/3
3	6/7 х/х	37/25 п/пл	5/7 пл/пл	4/4
4	6/7 х/х	27/58 п/х	4/8 очп/пл	2/7
5	6/6 х/х	32/61 п/х	5/8 пл/пл	1/5
6	6/7 х/х	43/78 п/х	7/9 пл/п	6/7

Примечание: *очх – очень хорошее, х – хорошее, п – посредственное, пл – плохое, опл – очень плохое.

Величины коэффициентов корреляции между различными биотическими индексами

Индекс	TBI	BMWP	IBGN	EPT
TBI	1			
BMWP	0,791	1		
IBGN	0,819	0,926	1	
EPT	0,819	0,784	0,717	1

Заключение. Оценка экологического качества воды по структурным показателям сообщества макрозообентоса и биотическим индексам в системе «река–водохранилище–река» показывала сходные данные.

Увеличение доли собирателей и соскребателей, а также снижение доли хищников и измельчителей свидетельствовали об увеличении загрязнения в ряду «река–водохранилище» и улучшении экологического качества воды на створе 6 ниже плотины вниз по течению.

Индексы BMWP, IBGN и EPT адекватно отражали экологическое качество воды на створах системы.

Наиболее высокие значения индексов и высокое экологическое качество воды получены для створа 1 (створ вверх по течению до подпора). Качество воды в водохранилище как по видовому богатству, соотношению трофических групп, так и по значениям биотических индексов было невысоким. Улучшение экологического качества воды происходило на створе реки ниже плотины вниз по течению.

Полученные данные могут быть использованы при прогнозировании возможных изменений экологического качества воды водотоков, на которых планируется строительство водохранилищ, а также могут стать научной основой при адаптации биотических индексов для использования на территории Республики Беларусь и для разработки систем экологического мониторинга водоемов и водотоков, подверженных антропогенному воздействию.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ НАН Беларуси (грант № Б10М-011 «Влияние зарегулирования реки на структуру бентосных сообществ (на примере Осиповичского и Петровического водохранилищ)).

ЛИТЕРАТУРА

1. Баканов, А.И. Мониторинг Шекснинского водохранилища по структурным показателям сообществ макрозообентоса / А.И. Баканов // Биология внутренних вод. – 2002. – № 3. – С. 65–71.
2. Соколов, В.Е. Международная программа по биоиндикации антропогенного загрязнения природной среды / В.Е. Соколов // Экология. – 1990. – № 2. – С. 30–34.
3. Mandaville, S.M. Benthic macroinvertebrates in freshwaters – Taxa tolerance values, metrics, and protocols / S.M. Mandaville // Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax. – 2002. – 128 p.
4. Семенченко, В.П. Сравнительный анализ двух подходов оценки качества воды по биологическим показателям (на примере притоков р. Днепр) / В.П. Семенченко, В.И. Разлуцкий, М.Д. Мороз // Водные ресурсы. – 2009. – Т. 36, № 4. – С. 459–464.
5. Adamek, Z. Macrozoobenthos response to environmental degradation in a heavily modified stream: Case study the Upper Elbe River, Czech Republic / Z. Adamek, C. Orendt // Biologia. – 2010. – Vol. 65, № 3. – P. 527–536.
6. Giers, A. Methodology for assessment of ecohydrological effects of dam construction in a headwater region / A. Giers [at al.] // Hydrology, Water Resources and Ecology in Headwaters. – 1998. – № 248. – P. 509–514.
7. Иоганзен, Б.Г. Сукцессия водных экосистем в бассейне Средней Оби / Б.Г. Иоганзен, Е.И. Глазырина, Н.А. Залозный // Сукцессии животного населения в биоценозах поймы реки Оби. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 78–99.
8. Трансграничный диагностический анализ бассейна реки Днепр. – Минск, 2003. – 217 с.
9. Липинская, Т.П. Изменение видовой и трофической структуры сообщества макрозообентоса в системе «река–водохранилище–река» (на примере Петровического водохранилища) / Т.П. Липинская // Биология внутренних вод: сб. материалов XIV Школы-конференции молодых ученых, Борок, 26–30 октября 2010 г. / Ярославль: Принтхаус, 2010. – С. 70–75.
10. Липинская, Т.П. Влияние Петровического водохранилища на структуру речного сообщества макрозообентоса / Т.П. Липинская // Вестн. Віцебск. дзярж. ун-та. – 2011. – № 1(61). – С. 50–54.
11. Camargo, J.A. Multimetric assessment of nutrient enrichment in impounded rivers based on benthic macroinvertebrates / J.A. Camargo, A. Alonso, M. De la Puente // Environmental Monitoring and Assessment. – 2004. – Vol. 96. – P. 233–249.
12. Липинская, Т.П. Экологическое качество воды в портах р. Припять / Т.П. Липинская // Природные ресурсы (межведомственный бюллетень). – 2010. – № 1. – С. 46–51.

Поступила в редакцию 8.04.2011. Принята в печать 29.04.2011

Адрес для корреспонденции: 220072, г. Минск, ул. Академическая, д. 27, e-mail: liptan86@mail.ru – Липинская Т.П.