

УДК 574.587:574.632

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ВОДОЕМОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗООБЕНТОСА

© 2015 В.П. Беляков, А.И. Бажора, И.В. Сотников

Институт озераведения РАН, г. Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 25.05.2015

Зообентос трех озерно-речных систем был исследован весной, летом и осенью 2013 г. Различия сезонной динамики количественных показателей, структурных характеристик и биотических индексов зообентоса отражали несинхронность отклика сообщества на действие природных и антропогенных факторов. По показателям зообентоса исследованные водные системы демонстрируют устойчивую тенденцию к деградации. Состав, структура и функциональная активность зообентоса, характеризующие разные состояния водных экосистем, могут использоваться в мониторинге, дополняя друг друга. В качестве индикатора токсичности загрязнений можно использовать наличие в выборках значительной доли особей с морфологическими отклонениями.

Ключевые слова: зообентос, биомониторинг, озерно-речная система, антропогенное воздействие, Санкт-Петербург

Водные системы, расположенные на городских территориях, как правило, подвергаются значительным и разнообразным антропогенным воздействиям, начиная с нарушения гидрологического и теплового режима и заканчивая различными загрязнениями вод. Все эти факторы приводят к существенным изменениям природных характеристик водных экосистем, обеднению видового состава, перестройкам структуры сообществ, снижению способности к самоочищению. Не случайно в программы мониторинга таких систем включают не только химико-аналитические методы, но и биоиндикацию. При этом основное внимание уделяется характеристикам фито-, зоопланктона, а также бактериального сообщества. Сообщество зообентоса представлено популяциями с более протяженными жизненными циклами, что позволяет отследить последствия уже случившихся воздействий, кроме того, в городских водотоках, а тем более водоемах усиливаются процессы аккумуляции в донных отложениях, степень загрязнений которых можно охарактеризовать по показателям зообентоса. В стандартную схему экологического мониторинга водоемов в лучшем случае входят только несколько показателей зообентоса – его количественное развитие, видовое разнообразие, различные олигохетные индексы, хирономидный индекс по Балушкиной и биотический индекс по Вудивиссу [1, 2]. При оценке состояния некоторых водоемов использовали также функциональные характеристики сообществ и наличие

морфологических отклонений особей зообентоса [3–6]. В обзоре А.И. Баканова рассмотрен широкий спектр показателей зообентоса, которые могут быть применены в экологическом мониторинге водоемов [7]. Дополнение этого списка расширяет возможности оценки состояния водоемов, особенно в городской среде. Тем не менее, любой метод биоиндикации должен учитывать особенность отклика биоты на нарушающее воздействие на фоне действия естественных факторов, поэтому представляется важным проведение сравнительных работ на водных системах разных типов.

Цель работы: оценка состояния водных систем, расположенных на городской территории, различающихся по их природным характеристикам и антропогенной нагрузке по количественным, структурным и функциональным показателям зообентоса.

Материалы и методы. Изучение зообентоса проводилось в рамках комплексных исследований трех озерно-речных систем (рис. 1). Водная система р. Дудергофки с площадью бассейна 327 км², расположенная на южной окраине Санкт-Петербурга, имеет общую протяженность около 25 км и берет начало на склонах Дудергофской возвышенности, являющейся частью Ижорского плато, сложенного карбонатными породами ордовикского периода. Выклинивающиеся известковые воды искусственно подпружены несколькими плотинами – в результате образована цепочка озер – верхнее Дудергофское (площадь зеркала 0,5 км², средняя глубина 1,5 м), Долгое и Безымянное (площадь зеркала 0,19 км², средняя глубина 3,0 м). Из последнего вытекает р. Дудергофка шириной от 2 до 10 м и глубину до 0,8 м. Воды р. Дудергофка через одноименный канал попадают в Финский залив. Воды системы квалифицируются как гидрокарбонатно-магниевого, а сумма главных ионов изменялась в диапазоне значений от 458 до 590 мг

Беляков Виктор Павлович, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии. E-mail: victor_beliakov@mail.ru

Бажора Александра Ивановна, младший научный сотрудник лаборатории гидробиологии. E-mail: bazhora_spb@mail.ru

Сотников Иван Валерьевич, аспирант

л⁻¹. Источниками загрязнения озер являются: сброс коммунально-бытовых сточных вод с территории малоэтажной застройки, автомобильные и железная дороги, интенсивное рекреационное использование. в оз. Безымянное многие годы неочищенные стоки сбрасывал завод пластмасс. Ниже в р. Дудергофку с ливневыми стоками попадают загрязнения от нефтебазы, садоводств и ряда производств в районе пос. Горелово.



Рис. 1. Схема расположения исследованных водных систем:

А – Дудергофские озера – р. Дудергофка; В – р. Старожиловка – оз. Н. Суздальское – р. Каменка – вдхр. Шуваловский карьер – р. Каменка; С – р. Охта – Охтинское вдхр. – р. Охта

Система р. Старожиловка – оз. Н. Суздальское – р. Каменка – вдхр. Шуваловский карьер – р. Каменка. Воды системы слабо минерализованы, значения суммы главных ионов составляют 183–316 мг л⁻¹, причем наименьшие значения относятся к основному притоку оз. Н. Суздальское – р. Старожиловке. По соотношению главных ионов воды системы классифицированы как хлоридно-натриевые. Старожиловка берёт начало на южном склоне Парголовских высот. Ее длина 7 км, площадь бассейна 33 км², русло шириной 5–8 м,

глубина 0,1–1,2 м, скорость течения 0,03–0,6 м с⁻¹. Река характеризуется высокой степенью загрязнения за счет поступления недостаточно очищенных сточных вод пос. Торфяное, стоков городской дождевой канализации и неконтролируемых сбросов. БПК₅ воды – до 8 мг л⁻¹, содержание нефтепродуктов – до 2,5 мг л⁻¹ [8]. Нижнее Суздальское – крупнейшее на территории Санкт-Петербурга озеро, имеющее ледниковое происхождение. Площадь озера – около 1 км², средняя глубина – 2,5 м. По содержанию общего фосфора трофический статус оз. Н. Суздальское оценен как гиперэвтрофный, а вдхр. Шуваловский карьер, расположенного в нижнем течении вытекающей из озера р. Каменка – эвтрофный. Площадь водохранилища составляет 0,33 км², средняя глубина – 1,5 м. Длина реки 12 км, ширина 2–3 м, глубины до 0,2–1 м, скорость течения – 0,2 м с⁻¹. Площадь водосбора составляет 35,5 км². В водоохранной зоне реки размещены промышленные предприятия, река используется для промышленных нужд и как водоприёмник сточных вод. Р. Каменка впадает в Лахтинский разлив Финского залива.

Система р. Охта включает в себя, кроме самой реки, довольно обширное водохранилище площадью 1,3 км², средней глубиной 2,8 м. Протяженность р. Охта от истока в районе Лемболовских высот до впадения в р. Неву – 99 км. Площадь бассейна 768 км². Ширина русла от 10 до 50 м, глубина 0,5–5 м. Воды реки, вследствие заболоченности значительной части водосбора, обогащены органическим веществом, в основном представленным почвенным и водным гумусом, что отражается на значениях цветности воды и ХПК, а также характеризуются низкой минерализацией (в среднем 170 мг л⁻¹), доминированием Na⁺ и Cl⁻, не характерным для данного региона, что является признаком хозяйственно-бытового загрязнения. На берегах р. Охты выстроено много промышленных предприятий, загрязняющих своими сбросами воды реки. Основными загрязняющими субстанциями являются цинк, медь, железо, марганец, нитритный азот и нефтепродукты. Среди рассматриваемых водных систем р. Охты, включающая Охтинское водохранилище, испытывает наибольшее техногенное воздействие [8].

Пробы зообентоса отбирались на сетке станций, расположенных в верхних, средних и нижних зонах этих водных систем в апреле, мае, июле и сентябре 2013 г. В озерах и водохранилищах материал собирался в центральных зонах – в биотопе илов и на литорали, как правило, в наиболее характерных илисто-песчаных биотопах. В водотоках пробы отбирались на полуразрезах, объединяющих две субпробы взятых на стрежне и прибрежье рек. Пробы зообентоса отбирались с помощью дночерпателя Петерсена, с площадью захвата 1/40 м², по три подъема на каждой станции.

Дальнейшая обработка собранного материала проводилась по стандартной методике [9].

Результаты и обсуждение. К наиболее часто применяемым методам оценки состояния водоема относится анализ видового состава гидробионтов, в том числе и зообентоса, на предмет наличия индикаторных видов. Тем не менее, использованная в работе схема отбора материала не дает возможности получить полноценный список видов зообентоса, обитающих в водоеме. Альтернативой в этом случае может служить сравнение списков

доминантных и массовых видов. Общий перечень обнаруженного макрозообентоса трех исследованных водных систем составляет 176 видов и форм: р. Дудергофка и озера – 170, оз. Н.Суздальское и реки Старожиловка и Каменка – 112, р. Охта – 70. Но только 45 встречены в трех системах, а 34 – в больше, чем 25% проб. Среди 18 таксономических групп наибольшее число видов отмечено у двукрылых (хируномид), моллюсков, ручейников и олигохет, представители этих групп обычно являются доминантами (табл. 1).

Таблица 1. Доминанты сообществ зообентоса в различные периоды 2013 года в трех исследованных водных системах

Станции	Апрель	Май	Июль	Сентябрь
оз. Дудергофское	<i>Einfeldia pagana</i>	<i>Tanytus villipennis</i>	<i>Chironomus plumosus</i>	<i>Caenis horaria</i>
оз. Безымянное центр	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Chironomus plumosus</i>	<i>Chironomus plumosus</i>	<i>Chironomus plumosus</i>
оз. Безымянное литораль		<i>Cryptochironomus defectus</i>	<i>Caenis undosa</i>	<i>Caenis undosa</i>
р.Дудергофка ср.течение	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Polypedilum bicrenatum</i>	<i>Centroptilum luteolum</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>
р.Дудергофка нижн. течение	<i>Paratanytarsus confusus</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Cricotopus bicinctus</i>	<i>Tubifex tubifex</i>
р. Старожиловка верх		<i>Anabolia laevis</i>	<i>Isochaetides newaensis</i>	<i>Eiseniella tetraedra</i>
р.Старожиловка устье	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Tubifex tubifex</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>
оз. Нижнее Суздальское	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Chironomus plumosus</i>	<i>Endochironomus albipennis</i>
р.Каменка исток	<i>Glyptotendipes glaucus</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Cladotanytarsus mancus</i>	<i>Glyptotendipes glaucus</i>
р.Каменка ср. течение		<i>Dicrotendipes nervosus</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Microtendipes pedellus</i>
Шуваловский карьер		<i>Isochaetides newaensis</i>	<i>Polypedilum sordens</i>	<i>Paratanytarsus confusus</i>
р.Каменка нижн. течение		<i>Euglesa sp.</i>	<i>Asellus aquaticus</i>	<i>Larsia sp.</i>
р. Охта верх	<i>Potamophylax rotundipennis</i>	<i>Procladius ferrugineus</i>	<i>Dicranota bimaculata</i>	<i>Procladius ferrugineus</i>
р. Охта ср. теч. выше вдхр		<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Bithynia tentaculata</i>	<i>Tubifex tubifex</i>
Охтинское вдхр центр	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>
Охтинское вдхр литораль			<i>Glyptotendipes glaucus</i>	<i>Glyptotendipes glaucus</i>
р. Охта ср. теч. ниже вдхр	<i>Glyptotendipes glaucus</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>
р. Охта нижн. течение		<i>Corixa sp.</i>	<i>Tubifex tubifex</i>	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>

Группы, являющиеся индикаторами чистых вод, такие как поденки и ручейники обнаружены только в верхних створах систем, а в нижнем течении – весной и летом, когда скорость течения достигала 0,2-0,3 м/сек. В течение сезона открытой

воды зообентос количественно рос к осени в истоках систем и в среднем течении рек, но снижался в зоне аккумуляции озерах и нижнем течении рек (рис. 2).

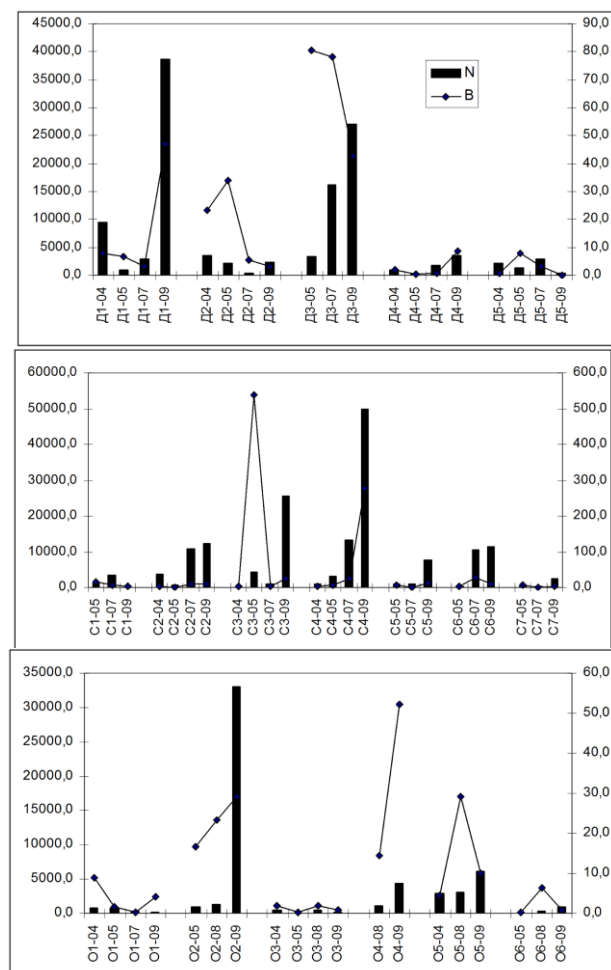


Рис. 2. Изменения численности (N, экз м⁻²) и биомассы (B, г м⁻²) зообентоса в водных системах р. Дудергофки, оз. Н.Суздальского и р. Охта в 2013 г.

Сложность структуры сообщества определяется не только видовым богатством, но степенью выравненности или доминирования. Общепринятым при нарушениях при критических воздействиях считается снижение видового разнообразия и повышение доминирования, о чем говорит, например, изменение индекса Шеннона-Уивера. Но использование этого показателя должно учитывать природные особенности биотопов, с которыми ассоциирован биоценоз. Другим показателем, который может свидетельствовать о нарушениях – расхождение аккумуляционных кривых доминирования по численности и биомассе (метод ABC), или использовать цифровое представление этой оценки – показатель D_E –разности выравненностей [10], который изменяется от -1 (благополучные условия) до +1 (критические условия). Как и метод ABC, показатель D_E отображает изменение жизненной стратегии в сообществах, т.е. преобладание популяций с r-стратегией при нарушениях среды обитания.

Накопление негативных воздействий вниз по течению сказалось на величине средней суммарной деструкции зообентоса, но не повлияло на индекс разнообразия, который рос в соответствии концепцией речного континуума. Биотические индексы зообентоса (Вудивисса и Гуднайта) давали нестабильные и несовпадающие оценки. Эти несогласованности могут свидетельствовать о возможных токсичных воздействиях. Об этом говорят и показатели встречаемости личинок хирономид с морфологическими отклонениями *Chironomus plumosus*, *Polypedilum tetracrenatum*, *Microtendipes pedellus* и др. (рис. 3) до 75% [11]. Этот показатель в целом согласуется с максимальными величинами показателя D_E , свидетельствующем о неблагоприятности отдельных участков водных систем (табл. 2).

Таблица 2. Средние и максимальные структурные и функциональные показатели зообентоса в отдельных участках исследованных водных систем

	S	Hs	De (макс)	IW	IG	Htr	R	%Def (макс)
Д1	11	2,36	0	3,0	8	1,45	628	0%
Д2	6	1,72	0,07	2,0	39	0,96	437	75%
Д3	21	2,69	0	6,7	21	1,76	1430	2%
Д4	10	2,46	-0,02	3,3	26	1,23	116	40%
Д5	13	2,96	0,04	3,8	20	1,44	116	44%
С1	9	2,06	0,23	5,3	54	0,87	181	0%
С2	8	1,39	0,33	3,0	69	1,06	206	67%
С3	10	1,74	0,13	3,5	32	1,53	1929	35%
С4	18	2,35	0,16	6,5	20	1,86	1591	1%
С5	13	2,70	0,05	6,0	16	1,35	262	8%
С6	19	3,00	0,12	5,3	12	1,80	442	60%
С7	10	2,87	-0,01	5,3	10	1,68	93	3%
О1	7	1,95	-0,19	3,8	1	0,81	67	0%
О2	8	1,65	0,27	2,7	46	0,61	537	25%
О3	2	0,17	0,17	1,5	97	0,47	34	20%
О4	11	2,63	-0,43	4,0	24	0,71	269	6%
О5	11	1,87	0,24	3,3	41	1,43	257	10%
О6	3	0,82	0,08	1,3	50	0,45	59	3%

Примечания: *s* – ср. число видов, *Hs* – ср. индекс видового разнообразия Шеннона, *De* (макс) – максимальное значение показателя разности выравненностей, *IW* – индекс Вудивисса, *IG* – индекс Гуднайта, *Htr* – ср. индекс разнообразия трофических групп зообентоса, *R* – ср. суточная деструкция зообентосом, *%Def* (макс) – максимальный процент встречаемости особей с морфологическими отклонениями

Специфика токсического воздействия загрязнителей на зообентос проявляется в зависимости от путей поступления токсикантов и времени их поступления. Основной путь поступления – трофический. Не случайно большинство особей с морфологическими отклонениями принадлежит к

видам, относящимся к трофическим группировкам фильтраторов, или детритофагов собирателей. Поэтому нужно учитывать складывающуюся в каждый конкретный момент трофическую структуру сообщества, зависящую также от природных особенностей водоема.

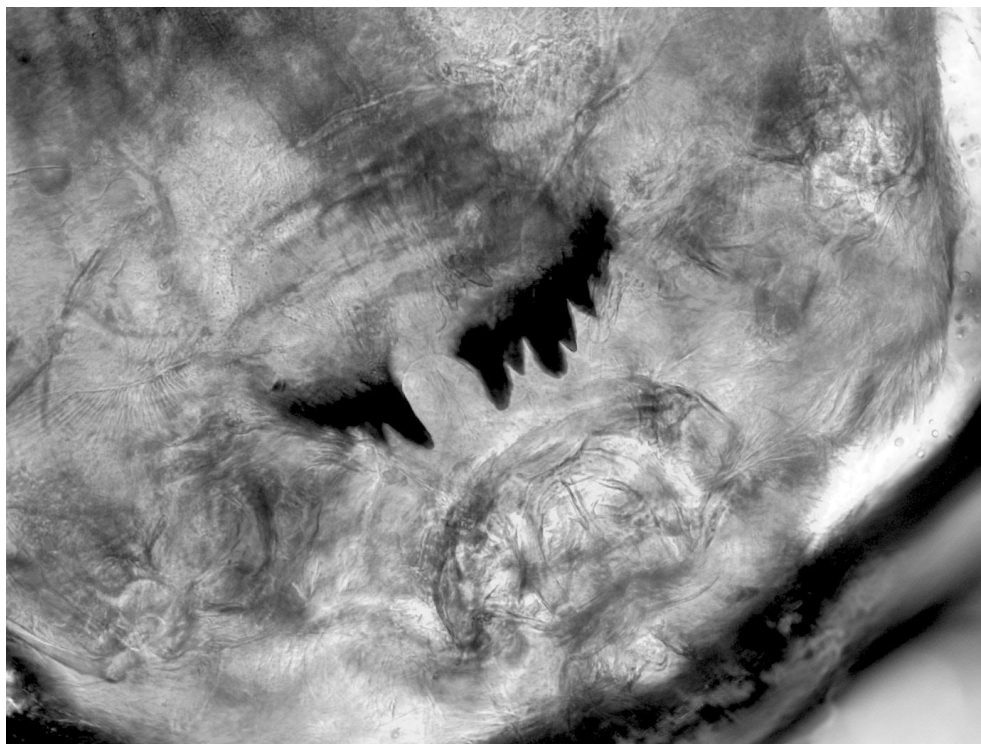


Рис. 3. Препарат головной капсулы личинки хирономиды с морфологическими нарушениями субментума

Несомненно, что при комплексном антропогенном воздействии, которое имеет место в городских водоемах, использование таких показателей как индекс Вудивисса не корректно – поскольку большинство групп индикаторов чистых вод просто отсутствует. Преобладание в составе хирономид фитофильных видов подсемейства *Orthocladiinae* приводит к ошибочным выводам при использовании для оценки хирономидного индекса Балушкиной. Индекс Гуднайта может давать сбой при загрязнениях, токсичных для олигохет. Тем не менее, состав, структура и показатели функциональной активности зообентоса могут использоваться в мониторинге, дополняя друг друга и характеризую разные состояния водных экосистем.

Выводы: по различным характеристикам зообентоса можно сделать вывод о значительной деградации водных экосистем исследованных нами водоемов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абакумов, В.А. Контроль качества вод по гидробиологическим показателям в системе Гидрометеорологической службы СССР // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: Тр. сов.-англ. семинара. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 93-99.
2. Шитиков, В.К. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн. / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко; Ин-т экологии Волжс. Бассейна РАН. – М.: Наука, 2005. Кн.1. 2005. – 281 с.
3. Алимов, А.Ф. Количественная оценка роли сообщества донных животных в процессах самоочищения пресноводных водоемов / А.Ф. Алимов, Н.П. Финогенова // Гидробиологические основы самоочищения вод. – Л.: ЗИН АН СССР, 1976. С. 5-14.
4. Алимов, А.Ф. Структурно-функциональный подход к изучению сообществ водных животных // Экология. 1982. № 3. С. 45-51.
5. Абакумов, В.А. Продукционные аспекты биомониторинга пресноводных экосистем // Продукционно-

- гидробиологические исследования водных экосистем. – Л.: Наука, 1987. С. 51-61.
6. Яковлев, В.А. Методы оценки качества вод по зообентосу озера Имандра // Мониторинг природной среды Кольского Севера. Апатиты, 1984. С. 39-50.
 7. Баканов, А.И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов // Биол. внутр. вод. 2000. № 1. С. 68-82.
 8. Водные объекты Санкт-Петербурга / Под. ред. С.А. Кондратьева и Г.Т. Фрумина. – СПб., 2002. 348 с.
 9. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. – Л., 1983. 51 с.
 10. Денисенко, С.Г. Результаты оценки экологического благополучия сообществ зообентоса по индексу “разности выравненностей” (D_E) / С.Г. Денисенко, М.А. Барбашова, В.В. Скворцов и др. // Биология внутренних вод, 2013. № 1. С. 46-55.
 11. Беляков, В.П. Морфологические деформации личинок хирономид, как показатель загрязненности водоемов Санкт-Петербурга / В.П. Беляков, И.В. Сотников // «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы». Матер. V Всерос. конф. по водной экотоксикологии, с зарубежным участием, посвященной памяти Б.А. Флерова, Т.2. – Борок, 2014. С. 13-16.

MONITORING THE ECOLOGICAL STATE OF ST. PETERSBURG CITY RESERVOIRS ON ZOOBENTHOS INDICATORS

© 2015 V.P. Belyakov, A.I. Bazhora, I.V. Sotnikov

Institute of Limnology RAS, St.Peterburg

The zoobenthos of three lake-river systems was investigated in the spring, in the summer and fall of 2013. Not synchronism of a response of community on action of natural and anthropogenous factors which is shown in distinctions of seasonal dynamics of quantitative characteristics, structural indices of community and biotic indexes of a zoobenthos is noted. As a whole, on zoobenthos indicators the studied water systems show a steady tendency to degradation. The structure and functional activity of a zoobenthos characterizing different conditions of water ecosystems can be used in monitoring, supplementing each other. As the indicator of toxicity of pollution it is possible to use existence in selections of a considerable share of individuals with morphological deviations.

Key words: zoobenthos, biomonitoring, lake-river system, anthropogenous influence, St. Petersburg

Viktor Belyakov, Candidate of Biology, Associate Professor,
Senior Research Fellow at the Hydrobiology Laboratory.

E-mail: victor_beliakov@mail.ru

Alexandra Bazhora, Minor Research Fellow at the
Hydrobiology Department. E-mail: bazhora_spb@mail.ru

Ivan Sotnikov, Post-graduate Student