

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗООПЛАНКТОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ВОДОЕМЫ-ОХЛАДИТЕЛИ

Д.В. Кулаков^{1,2}

E-mail: dvkulakov@mail.ru

¹ Санкт-Петербургское отделение ФГБУН «Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ: Исследован зоопланктон разнотипных водоемов-охладителей атомных электростанций, расположенных в разных водосборных бассейнах, различающихся по гидрографическим характеристикам и составу зоопланктона. В Копорской губе, являющейся частью акватории Финского залива, сброс подогретых вод Ленинградской атомной электростанции приводил к сокращению количественных показателей планктонных беспозвоночных. В водоеме-охладителе Белоярской атомной электростанции подогрев в большинстве случаев благоприятствовал увеличению численности и биомассы зоопланктона. В обоих исследованных водоемах воздействие теплых сбросов способствовало уменьшению общего количества видов в сообществе. Река Неман (проектируемый приемник сбросных вод Балтийской атомной электростанции) в период исследований не испытывала воздействия АЭС. В целом по акватории водотока максимальные значения численности и биомассы зоопланктона зарегистрированы в весенние периоды, летом и осенью наблюдалось их сокращение. Наибольшая степень трофности отмечена в районе городов Гродно, Каунаса, Юрбаркаса и Немана.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: зоопланктон, Ленинградская АЭС, Копорская губа, Белоярская АЭС, Белоярское водохранилище, Балтийская АЭС, р. Неман, водоем-охладитель.

Финансирование: работа выполнена в рамках проекта СПбГУ Pure ID 35626971.

Атомная электростанция (АЭС) и водоем-охладитель образуют единый природно-техногенный комплекс. При использовании естественных и искусственно созданных водоемов в качестве охладителей АЭС возникают инженерные, гидрологические и экологические проблемы, среди которых одной из важнейших является тепловое загрязнение. Эксплуатация АЭС оказывает влияние на экосистемы близлежащих акваторий, в результате сброса подогретых вод происходит «термическое эвтрофирование» водоема-

© Кулаков Д.В., 2020

охлаждателя, наблюдаются изменения условий существования биоты, и, как следствие, происходят структурные трансформации в гидробиоценозах. Однако в разных водных объектах отклик гидробионтов на техногенное воздействие различен, поскольку экосистема конкретного водоема-охлаждателя индивидуальна и имеет свою специфику [1]. Организмы зоопланктона являются одними из важнейших компонентов водных биоценозов, активно участвуют в процессах деструкции органического вещества и составляют значительную часть рациона рыб. Благодаря способности достаточно чутко реагировать на происходящие в водной среде изменения планктонные беспозвоночные служат индикатором экологического состояния водоема [2].

Исследования показателей зоопланктона для оценки воздействия атомных электростанций на водоемы-охлаждатели проведены в Копорской губе Финского залива, воды которой используются для охлаждения Ленинградской атомной электростанции (ЛАЭС) [3], в Белоярском водохранилище – водоеме-охладителе Белоярской атомной электростанции (БАЭС) [4], а также р. Неман – проектируемом приемнике сбросных вод Балтийской атомной электростанции (БтАЭС) [5]. Специфика развития гидробиоценозов исследованных водоемов определялась морфометрическими и гидрологическими параметрами водных объектов.

Наблюдения за воздействием промышленных объектов на водные экосистемы позволяют оценить состояние окружающей среды в районах расположения АЭС и выявить ответные реакции гидробионтов на факторы нарушения и загрязнения областей их обитания. Полученная информация позволяет провести прогнозную оценку влияния эксплуатации атомных станций на близлежащие водные экосистемы и разработать действенные компенсирующие мероприятия по сведению данного воздействия к минимуму.

Цель данной работы – оценка по гидробиологическим показателям воздействия атомных электростанций на разнотипные водоемы-охлаждатели.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Копорская губа относится к акватории Финского залива, расположена в Ленинградской обл. и служит водоемом-охладителем ЛАЭС (рис. 1а), использующей в год для охлаждения 4,4–5,3 км³ воды. Тепловой сброс осуществляется по двум каналам с четырех энергоблоков I и II очередей (электрическая мощность каждого реактора 925 МВт). Поступление теплых сбросов ЛАЭС в Копорскую губу является одним из значимых факторов антропогенного воздействия на биоту данного водного объекта, однако протяженность зоны экстремального техногенного воздействия не превышает нескольких сотен метров от сбросных каналов. Поскольку объемы сбросов значительно меньше объема воды Финского залива, происходит интенсивное перемешивание водных масс: на расстоянии 3–5 км от ЛАЭС изменения температуры не превышают в среднем 1,0 °С от фоновых значений.

Отбор проб производили ежемесячно с апреля по сентябрь 2010–2015 гг. Станции отбора проб (ст.) располагались в сбросных каналах ЛАЭС (ст. 1, 4) и на необогреваемой акватории Копорской губы, включающей водозаборные каналы ЛАЭС (ст. 2, 3) и открытую часть водоема (ст. 5–11) (рис. 2).

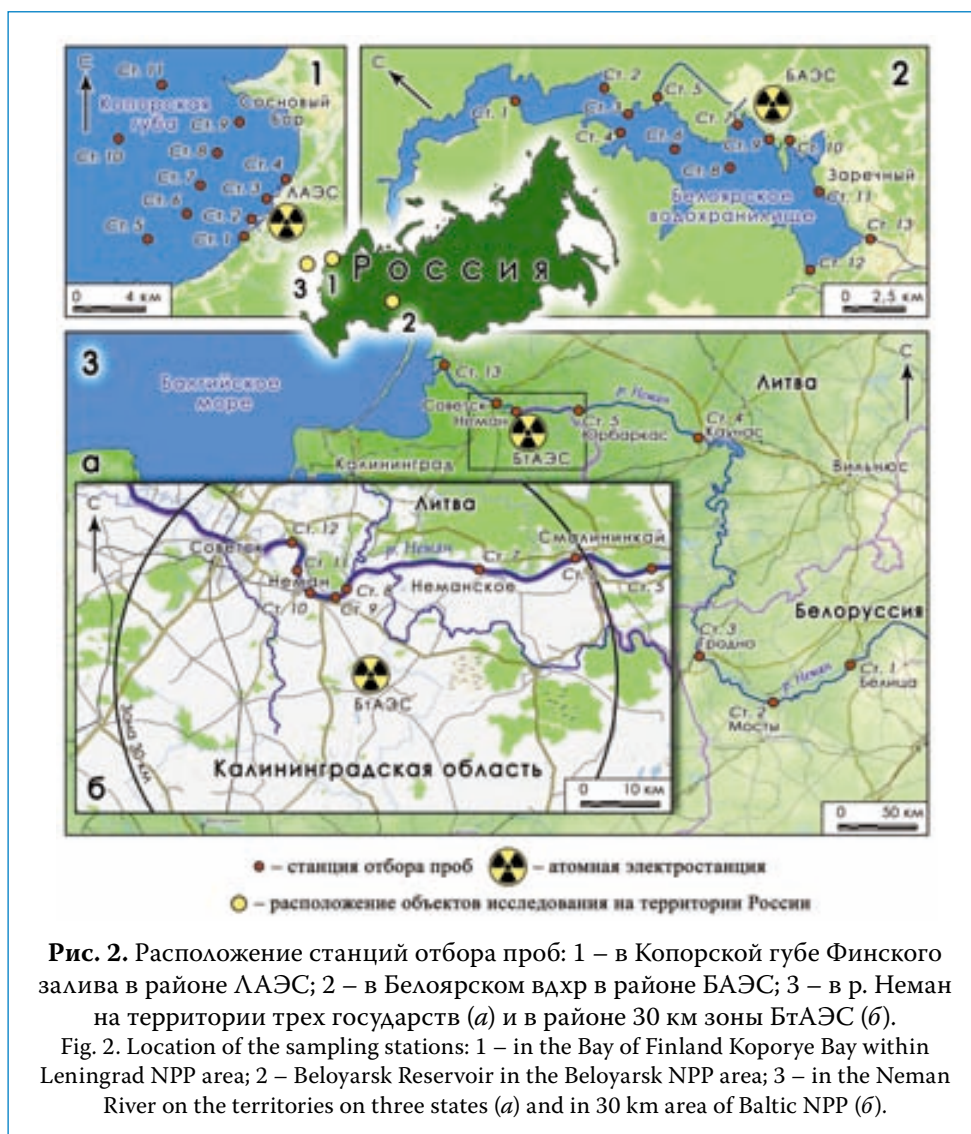
Белоярское водохранилище создано в 1963 г. на р. Пышме в Свердловской обл. для охлаждения БАЭС (рис. 1б). В период исследований сброс подогретых вод осуществлялся с третьего энергоблока БАЭС (мощность 600 МВт), четвертый энергоблок находился в процессе строительства. Первые два энергоблока выведены из эксплуатации в 1980-х годах. Площадь теплового водного потока БАЭС достигала 1 км², что составляло 3 % от площади водохранилища. В непосредственной близости от водовыпуска область теплового воздействия имела непостоянные границы, зависящие в основном от тепловой нагрузки БАЭС и направления ветра. Тем не менее, даже при самых неблагоприятных условиях, температура воды в нижней части водохранилища не превышала естественную более чем на 1–2 °С. Пробы отбирали раз в месяц с июня по октябрь 2012–2014 гг. Станции отбора проб размещались в сбросном канале третьего энергоблока (ст. 10) и необогреваемой акватории (ст. 1–9, 11–13), включающей строящиеся каналы четвертого энергоблока (водозабор – ст. 7, водосброс – ст. 5) и действующий водозаборный канал третьего энергоблока – ст. 9 (рис. 2).

Река Неман (рис. 1в), протекающая по территориям Республики Беларусь, Литовской Республики, Калининградской обл. Российской Федерации и впадающая в Куршский залив Балтийского моря, имеет важное рыбохозяйственное значение, используется для судоходства, водоснабжения и сельского хозяйства. После ввода в эксплуатацию БТАЭС планируется использовать данный водоток в качестве приемника сбросных вод. В период исследований строящаяся БТАЭС не оказывала влияния на водоток, поэтому подразделение реки на зону в районе проектируемого водосброса и акваторию, которая не будет подвергаться температурному воздействию, произведено с целью установления фоновых параметров водной экосистемы и последующего сравнения с показателями при эксплуатации БТАЭС. Гидродинамическое моделирование находящегося в зоне проектируемого водосброса участка р. Неман [6] показало, что длина шлейфа подогретых вод составит около 500 м, его ширина будет примерно равна длине распределительного трубопровода (40 м). Температура сбросных вод превысит температуру речной воды на 0,8–1,9 °С в разные сезоны года. Исследования выполнены в вегетационные периоды 2012–2017 гг. на 13 станциях отбора проб (рис. 2). Станция 8 соответствовала расположению проектируемого водосброса, остальные располагались вне зоны предполагаемого воздействия БТАЭС.



Рис. 1. Объекты исследований: *а* – Копорская губа,
б – Белоярское вдхр, *в* – р. Неман.

Fig. 1. Objects of the research: *a* – Kopperye Bay, *б* – Beloyarsk Reservoir, *в* – the Neman River.



Во всех исследованных объектах отбор проб зоопланктона и их обработка производилась по общепринятой методике [7] с использованием соответствующих определителей [8–10]. Пробы отбирали путем фильтрации 50–100 л воды через газ с размером ячеек 64 мкм. Для фиксации использовали 70-процентный этиловый спирт.

Зоопланктон оценивали по видовому составу, численности (N), биомассе (B). Видовое разнообразие определяли по информационному индексу

Шеннона–Уивера, который рассчитывали по численности (H_N) и биомассе (H_B) зоопланктона [11]. Для оценки качества вод использован индекс сапробности Пантле–Букка в модификации Сладечека (S) [12, 13]. Оценка трофического статуса водоема осуществлялась с применением фаунистического коэффициента трофности Мяэметса (E) [14]. Доминантные виды выделяли по относительной численности и биомассе, принимая за нижнюю границу доминирования обилие $\geq 10\%$ от суммарного количества.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Копорская губа. Техническое водоснабжение ЛАЭС осуществлялось морской водой по прямоточной схеме, поэтому воды открытой части Копорской губы, сбросных и водозаборных каналов ЛАЭС были практически идентичны по химическому составу. Воды относились к солоноватым, эстуарным, хлоридно-натриевым, со средней минерализацией $3,5 \text{ г/дм}^3$. Значение рН воды близко к 8,0. Содержание взвешенных веществ составляло в среднем $14,2 \pm 13,4 \text{ мг/дм}^3$. Средние значения БПК₅ – $23,8 \pm 19,4 \text{ мг/дм}^3$. Наибольшее влияние на уровень загрязнения вод оказывали аммонийный и нитритный азот, общее железо и растворенные органические вещества. Средний температурный перепад между заборной и сбросной водами достигал наибольших значений в апреле – до $10,2 \text{ }^\circ\text{C}$ (табл. 1).

Таблица 1. Среднемесячная температура воды, $^\circ\text{C}$
Table 1. Monthly average water temperature, $^\circ\text{C}$

Месяц	Копорская губа		Белоярское вдхр		р. Неман	
	I	II	I	II	I	II*
Апрель	$8,9 \pm 1,5$	$19,1 \pm 2,0$	–	–	$9,1 \pm 0,1$	$8,8 \pm 0,0$
Май	$11,6 \pm 3,3$	$21,1 \pm 1,6$	–	–	$16,5 \pm 0,4$	$15,9 \pm 1,0$
Июнь	$16,6 \pm 1,0$	$23,6 \pm 1,7$	$19,8 \pm 0,1$	$25,0 \pm 0,0$	$19,9 \pm 0,5$	$20,6 \pm 2,0$
Июль	$19,9 \pm 1,3$	$26,3 \pm 2,1$	$22,2 \pm 0,3$	$30,6 \pm 0,0$	$20,1 \pm 0,2$	$20,6 \pm 0,8$
Август	$21,2 \pm 0,6$	$24,8 \pm 2,7$	$20,5 \pm 0,8$	$34,0 \pm 0,0$	–	–
Сентябрь	$17,8 \pm 0,6$	$24,2 \pm 1,6$	$16,0 \pm 1,2$	$23,2 \pm 3,1$	$17,4 \pm 0,4$	$17,5 \pm 1,3$
Октябрь	–	–	$9,2 \pm 0,2$	$9,8 \pm 0,0$	$9,5 \pm 0,3$	$9,8 \pm 1,2$

Примечание: I – необогреваемая акватория; II – водосброс; «–» – исследования не проводились; * – тепловое воздействие отсутствовало.

В зоопланктоне Копорской губы в период исследования обнаружено 66 видов беспозвоночных (Rotifera – 25, Copepoda – 19, Cladocera – 22 вида), среди которых в сбросных каналах ЛАЭС встречалось 38, в необогревае-

мой акватории – 65 (табл. 2). При этом на водосбросе по сравнению с необогреваемой акваторией количество видов в пробе достоверно уменьшалось в сентябре (табл. 3).

Таблица 2. Видовое богатство зоопланктона

Table 2. Species richness of zoo/plankton

Таксон	Копорская губа		Белоярское вдхр		р. Неман	
	I	II	I	II	I	II*
Rotifera	24	19	24	8	36	20
Copepoda	19	9	10	4	13	8
Cladocera	22	10	26	14	32	18
Всего	65	38	60	26	81	46

Примечание: I – необогреваемая акватория; II – водосброс; * – тепловое воздействие отсутствовало.

В зоопланктоне необогреваемой акватории Копорской губы и сбросных каналов ЛАЭС как по численности, так и по биомассе доминировали *Asplanchna priodonta* Gosse, *Euchlanis dilatata lucksiana* Hauer, *Keratella cochlearis baltica* (Imhof), *K. quadrata platei* Jägerskiöld, *Bosmina longirostris* (O.F. Müller), *B. coregoni maritima* (P.E. Müller), *Acartia tonsa* Dana, *Cyclops vicinus* Uljanin, *Eurytemora lacustris* (Poppe) и ювенильные особи Calanoida и Cyclopoida. Только в сбросных каналах ЛАЭС встречались *Bipalpus hudsoni* (Imhof), *Brachionus quadridentatus* Hermann, *Lecane lunaris* (Ehrenberg), *Notommata collaris* Ehrenberg, *Testudinella patina* (Hermann), *Trichocerca carpicina* (Wierzejski & Zacharias). Тем не менее, на водосбросе из зоопланктона выпадали организмы, испытывающие наиболее сильные повреждения при прохождении через охладительные агрегаты ЛАЭС: *Leptodora kindtii* Focke, *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin), *Cercopagis pengoi* (Ostroumov), *Ceriodaphnia quadrangula* O.F. Müller, *Bosmina coregoni* Baird, *Macrocyclus albidus* (Jurine), *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg), *Eu. gracilis* (G.O. Sars), *Cyclops scutifer* Claus, *Acanthodiptomus denticornis* (Wierzejski).

По сравнению с необогреваемой акваторией Копорской губы в сбросных каналах наблюдалось уменьшение численности и биомассы зоопланктона в среднем в 3,5 раза. Численность зоопланктона в августе и сентябре в зоне сброса подогретых вод была достоверно ниже, чем в необогреваемой акватории (табл. 3), где в этот период происходило массовое развитие коловраток *Keratella cochlearis baltica* (до 37,0 % от общей численности сообщества), *K. quadrata platei* (до 54,4 %) и науплиусов веслоногих ракообразных (до 77,1 %). Биомасса зоопланктона в зоне подогрева достоверно уменьшалась

в мае и июле, когда в неподлежающей тепловому воздействию акватории массово развивалась *Bosmina coregoni maritima* (до 86,5 % от общей биомассы).

В необогреваемой акватории Копорской губы и сбросных каналах ЛАЭС наибольшим количеством видов были представлены коловратки. По численности эта группа беспозвоночных также занимала лидирующее положение (вне зоны подогрева – в среднем 56,8 %, на водосбросе – 47,6 %), в сентябре отмечено сокращение численности коловраток за счет развития веслоногих ракообразных. По биомассе в разные сезоны года в необогреваемой акватории Копорской губы и сбросных каналах ЛАЭС главенствовали ветвистоусые и веслоногие ракообразные, за исключением апреля, когда доля биомассы коловраток вне зоны подогрева была наибольшей (64,8 %).

Значения индекса Шеннона–Уивера, рассчитанного по численности зоопланктона, вне зоны подогрева в среднем составляли $1,8 \pm 0,1$ бит/экз., в сбросном канале ЛАЭС – $1,8 \pm 0,2$ бит/экз. Значения индекса в необогреваемой акватории – $1,7 \pm 0,2$ бит/г, на водосбросе – $1,7 \pm 0,3$ бит/г. По средним значениям коэффициента трофности воды Копорской губы и каналов ЛАЭС относились к эвтрофному типу, по величине индекса сапробности соответствовали олигосапробной – β -мезосапробной зоне (табл. 3).

Белоярское водохранилище. Химический состав вод водоема соответствовал гидрокарбонатному классу кальциевой группы первого типа. Величина минерализации варьировала от 0,18 до 0,45 г/дм³. Значение водородного показателя рН изменялось в пределах от 6,7 до 8,1. В водохранилище зафиксировано превышение порога высокого загрязнения по величине показателя ХПК (в среднем 33,0 мг О₂/дм³) и высокие значения показателя БПК₅ (в среднем 9,5 мг О₂/дм³). Для сбросных вод, относительно заборной воды, характерно повышенное содержание органических веществ (по показателю ХПК). Превышение предельно допустимой концентрации биогенных элементов для водоемов рыбохозяйственного значения регистрировали только в летний период при снижении расхода воды. Увеличение концентрации общего железа происходило в весенний период при повышении поверхностного стока с заболоченных водосборов. Разница между температурой воды в сбросном канале БАЭС и в среднем по необогреваемой акватории водоема достигала наибольших значений в августе – до 13,5 °С (табл. 1).

В зоопланктоне Белоярского вдхр обнаружено 64 вида беспозвоночных (Rotifera – 30, Copepoda – 6, Cladocera – 28 видов), в т. ч. в сбросном канале БАЭС зарегистрировано 26 видов, в необогреваемой акватории водоема – 60 (табл. 2). В районе подогрева по сравнению с необогреваемой акваторией количество видов в пробе достоверно возрастало в июне и августе (табл. 4).

В разные периоды исследований в водохранилище по численности и биомассе доминировали *Daphnia galeata* Sars, *Chydorus sphaericus*

Таблица 3. Среднемесячные показатели зоопланктона Копорской губы
Table 3. Average monthly indicators of the Koryu Bay zoo/plankton

Месяц	Участок	Среднее количество видов в пробе				Численность (N), тыс. экз/м ³	Биомасса (B), г/м ³	Индекс Шеннона – Уивера, H _p бит/экз.	Индекс Шеннона – Уивера, H _p бит/л	Коэффициент трофности, F	Индекс сапробности, S
		Rotifera	Copepoda	Cladocera	Сумма						
Апрель	I	1,7±0,4	1,0±0,2	1,1±0,1	3,9±0,5	4,3±0,9	0,1±0,0	1,3±0,3	1,2±0,2	1,0±0,3	1,0±0,0
	II	1,3±0,3	1,5±0,6	1,0±0,0	3,8±0,6	5,4±4,7	0,0±0,0	1,3±0,3	1,6±0,3	0,6±0,2	1,4±0,1
Май	I	3,1±0,3	0,9±0,2	2,1±0,2	6,1±0,4	8,5±1,9	0,1±0,0*	2,0±0,1	1,3±0,1	2,3±0,6	1,5±0,0
	II	4,7±1,3	0,7±0,3	1,7±0,3	7,0±1,2	6,1±3,4	0,1±0,0	2,2±0,2	1,3±0,5	6,2±3,3	1,4±0,1
Июнь	I	3,2±0,3	1,7±0,4	2,6±0,3*	7,5±0,9	33,2±11,6	0,4±0,2	1,8±0,2	1,9±0,2	1,4±0,3	1,5±0,0
	II	2,8±0,4	1,0±0,0	1,6±0,2	5,4±0,5	10,3±3,2	0,3±0,1	1,8±0,2	1,2±0,4	1,6±0,4	1,5±0,1
Июль	I	3,4±0,4	2,2±0,4	3,4±0,4	9,1±0,9	139,5±55,0	1,6±0,3*	1,8±0,2	1,4±0,2	1,6±0,3	1,5±0,0
	II	3,5±0,6	2,3±0,7	2,8±0,3	8,7±1,0	32,9±10,7	0,2±0,1	1,7±0,4	1,9±0,3	2,0±0,8	1,5±0,1
Август	I	4,9±0,5	3,7±0,3	3,8±0,7	12,4±1,3	65,9±7,9*	0,6±0,1	2,3±0,2	2,5±0,1	1,6±0,2	1,5±0,0
	II	4,2±0,4	3,2±0,8	2,8±0,2	10,2±0,6	23,9±7,2	0,2±0,1	2,2±0,4	2,7±0,1	1,5±0,4	1,4±0,1
Сентябрь	I	2,5±0,2	2,9±0,3*	3,3±0,3*	8,7±0,6*	44,1±9,4*	0,4±0,1	1,7±0,1	2,0±0,2	1,1±0,2	1,6±0,0
	II	2,7±0,6	1,4±0,4	1,9±0,1	6,0±0,5	6,3±2,3	0,1±0,0	1,9±0,1	1,5±0,2	2,1±0,5	1,6±0,0

Примечание: I – необогреваемая акватория; II – водосбор; * – достоверные различия (p < 0,05).

(O.F. Müller), *Bosmina longirostris*, *B. coregoni kessleri* (Uljanin), *Eudiaptomus graciloides*, *Mesocyclops leuckarti* (Claus) и ювенильные особи веслоногих ракообразных. Среди доминирующих по численности видов зарегистрированы также *Keratella quadrata* (O.F. Müller), *K. cochlearis* (Gosse), *Euchlanis dilatata* Ehrenberg. По биомассе доминировали *Daphnia cristata* G.O. Sars, *D. cucullata* G.O. Sars, *Graptoleberis testudinaria* (Fischer), *Leptodora kindtii* (Focke), *Macrocyclus albidus*. Все виды, обнаруженные в сбросном канале БАЭС, зарегистрированы и на необогреваемой акватории водоема. Однако техногенное воздействие способствовало выпадению из гидробиоценоза таких видов, как *Acanthocyclops viridis* (Jurine), *Cyclops strenuus* Fischer, *Eucyclops serrulatus* (Fischer), *Simocephalus vetulus* (O.F. Müller), *Polyphemus pediculus* (Linnaeus), встречавшихся на большинстве станций отбора проб в необогреваемой акватории водохранилища.

В сбросном канале БАЭС, по сравнению с неподвергавшейся тепловому воздействию акваторией, численность планктонных животных возрастала в среднем в 2,6 раза, биомасса – в 4,7 (табл. 4). Сброс теплых вод оказывал стимулирующее влияние на развитие планктонных беспозвоночных, в результате их численность была достоверно выше в июле, когда наблюдалось массовое развитие коловраток *Keratella quadrata* (до 81,4 % от общей численности сообщества) и ветвистоусых ракообразных *Daphnia galeata* (до 62,5 %). Биомасса зоопланктона в зоне теплового воздействия достоверно увеличивалась в октябре (табл. 4).

В зоопланктоне необогреваемой акватории Белоярского водохранилища в летний период по количеству видов, численности и биомассе ракообразные преобладали над коловратками, при этом наибольшую долю составляли ветвистоусые ракообразные (в среднем 63,5 % от общей численности и 85,7 % от общей биомассы в июне). В осенний период наблюдалось увеличение количества видов и доли численности коловраток – до 50,5 % от количества видов и до 46,5 % от общей численности в октябре. В зоопланктоне сбросного канала доминировали ракообразные, за исключением июля, когда доля численности коловраток достигала 43,2 %.

В необогреваемой акватории Белоярского водохранилища средние значения индекса Шеннона–Уивера, рассчитанного по численности зоопланктона составляли $2,3 \pm 0,1$ бит/экз., в сбросном канале БАЭС – $2,3 \pm 0,3$ бит/экз. Значения индекса, рассчитанного по биомассе, вне зоны подогрева – $1,9 \pm 0,1$ бит/г, на водосбросе – $1,4 \pm 0,2$ бит/г. Сброс подогретых вод БАЭС способствовал сокращению значений индекса Шеннона–Уивера, рассчитанного по биомассе зоопланктона. Значения индекса, рассчитанного по численности, в сбросном канале БАЭС по сравнению с необогреваемой акваторией водоема, несущественно снижались в июле, августе и сентябре.

Таблица 4. Среднемесячные показатели зоопланктона Белоярского водохранилища
Table 4. Average monthly indicators of Beloyarsk Reservoir zoo/plankton

Месяц	Участок	Среднее количество видов в пробе				Численность (N), тыс. экз/м ³	Биомасса (B), г/м ³	Индекс Шеннона – Уивера, H _N бит/экз.	Индекс Шеннона – Уивера, H _B бит/г	Коэффициент трофности, E	Индекс сарпобности, S
		Kotifera	Copepoda	Cladocera	Сумма						
Июнь	I	2,3±0,9	1,8±0,5	5,3±0,8*	9,3±1,3*	21,3±2,8	0,6±0,4	1,9±0,1*	1,9±0,2*	1,3±0,7	1,6±0,01
	II**	3,0	2,0	9,0	14,0	20,2	1,7	2,7	1,2	1,1	1,6
Июль	I	2,2±0,5	2,5±0,3	4,0±0,4	8,7±0,6	24,0±5,8*	0,5±0,1	2,6±0,1	2,0±0,2	1,2±0,3	1,7±0,02*
	II	2,5±1,5	2,5±0,5	5,0±2,0	10,0±4,0	255,3±200,6	2,0±1,7	1,7±0,5	1,9±0,4	0,7±0,1	1,6±0,04
Август	I	4,2±0,6	2,6±0,2*	5,3±0,4*	12,1±0,9*	56,4±7,4	2,6±0,7	2,6±0,1	1,5±0,2	1,7±0,3	1,7±0,02*
	II	2,5±0,5	2,0±0,0	4,0±0,0	8,5±0,5	85,4±67,8	17,5±16,8	2,1±0,2	0,9±0,4	1,3±0,04	1,8±0,02
Сентябрь	I	3,8±0,4	3,7±0,6	4,5±0,4	11,9±0,9	42,7±11,6	1,1±0,4	2,3±0,1*	2,0±0,2	1,6±0,3	1,5±0,02
	II	4,5±0,5	3,5±1,5	4,5±2,5	12,5±0,5	23,1±1,2	1,4±0,8	2,9±0,2	1,7±0,1	2,0±0,6	1,6±0,1
Октябрь	I	6,0±1,2	2,3±0,3	3,5±0,9	11,8±2,0	17,6±7,0	0,2±0,2*	2,5±0,3	2,7±0,3*	3,4±0,6	1,7±0,1
	II**	4,0	2,0	4,0	10,0	32,4	1,5	2,3	1,6	2,7	1,6

Примечание: I – необогреваемая акватория; II – водосбор; * – достоверные различия (p < 0,05); ** – ошибку среднего не подсчитывали из-за малой для статистической обработки выборки.

По средним значениям коэффициента трофности воды Белоярского водохранилища характеризовались как эвтрофные, средние величины индекса сапробности в сбросном канале БАЭС и в акватории, не подвергающейся тепловому воздействию, соответствовали β -мезосапробной зоне (табл. 4).

На зоопланктон водоемов-охладителей влияет ряд факторов, среди которых определяющими являются тепловой и механический [15, 16]. Совокупное действие этих факторов в Копорской губе и Белоярском водохранилище способствовало тому, что в зоне подогрева наблюдалось уменьшение общего количества видов зоопланктона, из сообщества выпадали наиболее подверженные техногенному воздействию организмы, обладающие удлиненной формой тела, выступающими придатками и конечностями. Мелкоразмерные организмы с твердыми панцирями, округлой формы и с короткими конечностями в значительно меньшей степени подвергались воздействию сбросных вод [17].

Река Неман. Водный режим водотока характеризуется весенним половодьем, летней и зимней меженью. Воды относятся к пресным, среднеминерализованным, гидрокарбонатно-кальциевым. Концентрация соединений фосфора и азота подвержена значительным сезонным колебаниям. Минимальное содержание фосфатов и нитратов наблюдалось в весенне-летний период, максимальное – осенью и зимой. В весенний период воды реки загрязнены преимущественно ионами аммония, в период спада половодья регистрировалось высокое содержание нитрит-анионов и нитрат-анионов. Органическое загрязнение водотока происходило в результате диффузного стока с сельскохозяйственных территорий, а также поступления бытовых и промышленных стоков в районах населенных пунктов [4]. В период исследования температура воды в районе проектируемого водосброса не отличалась от температуры акватории реки, достигая наибольших значений в июле (табл. 1).

В зоопланктоне р. Неман обнаружен 81 вид беспозвоночных (Rotifera – 36, Copepoda – 13, Cladocera – 32 вида), из них в районе проектируемого водосброса – 46 видов (табл. 2), что связано с неоднородностью условий их обитания в водотоке в пространственном и временном аспекте. Доминировали по численности коловратки *Euchlanis dilatata*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata* и ювенильные особи веслоногих ракообразных. Кроме того, в разные периоды исследования регистрировалось массовое развитие коловраток *Polyarthra dolichoptera* Idelson, *Brachionus quadridentatus*, *Asplanchna priodonta*, ветвистоусых *Bosmina longirostris*, *Daphnia cristata* и *D. cucullata*.

По биомассе ежегодно доминировали коловратки *Euchlanis dilatata* и копеподиты циклопов. Кроме того, в разные годы исследований отмечено значительное присутствие *Daphnia cucullata*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Asplanchna priodonta*, *Eudiaptomus graciloides*, *Diaphanosoma*

brachyurum, *Alona rectangula* G.O. Sars, *Daphnia cristata*, *Cyclops vicinus*, *Brachionus quadridentatus*, *Synchaeta pectinata* Ehrenberg и *Thermocyclops oithonoides* G.O. Sars. Численность и биомасса зоопланктона в районе будущего водосброса и в остальной акватории реки не имели достоверных отличий, за исключением апреля, также значения биомассы зоопланктона в исследуемых участках водотока достоверно различались в сентябре (табл. 5). Однако в связи с отсутствием воздействия БТАЭС на водоток, отличия в показателях зоопланктона имели случайный характер.

В целом по водотоку максимальные значения численности и биомассы зоопланктона обнаружены в весенний период, что может быть связано с разливом реки и образованием временных сообществ в водах затопленной поймы. В середине лета и осенью при снижении уровня воды и уменьшении концентрации биогенных веществ в водотоке наблюдалось значительное сокращение количественных показателей зоопланктона. Преобладающей по численности группой планктонных беспозвоночных были коловратки, в межгодовом ряду наблюдений их доля численности в сообществе варьировала от $47,6 \pm 3,9$ до $73,9 \pm 3,5$ %. Доля численности ветвистоусых ракообразных была наименьшей, тем не менее, по биомассе эти животные занимали лидирующее положение – от $38,6 \pm 8,3$ до $57,9 \pm 4,4$ %.

Значения индекса Шеннона–Уивера, рассчитанного по численности зоопланктона, в районе проектируемого водосброса варьировали от 1,6 до $3,2 \pm 0,1$ бит/экз., на станциях вне предполагаемого воздействия БТАЭС – от $1,2 \pm 0,1$ до $2,9 \pm 0,1$ бит/экз. Значения данного индекса, рассчитанного по биомассе, в районе будущего водосброса составляли от $1,8 \pm 0,2$ до $2,5 \pm 0,2$ бит/г, в акватории реки – от $1,5 \pm 0,1$ до $2,7 \pm 0,1$ бит/г (табл. 5). Средние величины коэффициента трофности Мяэметса свидетельствовали о снижении трофического уровня вод р. Неман от весеннего ($E = 16,4 \pm 1,3$) и летнего периода ($E = 14,2 \pm 2,7$) к осеннему ($E = 3,6 \pm 0,4$) – от гиперэвтрофных до эвтрофных условий (табл. 5). Максимальные значения данного коэффициента зарегистрированы весной и летом в районе крупных населенных пунктов: г. Гродно ($E = 15,0 \pm 6,9$), г. Каунас ($E = 23,9 \pm 3,1$), г. Юрбаркас ($E = 20,2 \pm 3,7$), г. Неман ($E = 23,4 \pm 6,6$); наименьшие – осенью в районе г. Мосты ($E = 1,5 \pm 1,0$) и д. Белица ($E = 1,3 \pm 0,7$). Средние значения индекса сапробности в районе будущего водосброса и в акватории реки составляли от 1,4 до $1,7 \pm 0,1$ баллов, что соответствует олигосапробной – β -мезосапробной зоне.

Таким образом, предусмотренные проектом БТАЭС технологические решения обеспечат минимальное воздействие на биоресурсы р. Неман [6]. При эксплуатации БТАЭС, даже в примыкающей к водосбросу зоне, не следует ожидать сильного угнетающего действия повышения температуры воды на гидробионты. Основным фактором воздействия на зоопланктон

Таблица 5. Среднемесячные показатели зоопланктона реки Неман
 Table 5. Average monthly indicators of the Neman River zoo/plankton

Месяц	Участок	Среднее количество видов в пробе				Численность (N), тыс. экз./м ³	Биомасса (B), г/м ³	Инакс Шеннона – Уивера, N ^ш бит/экз.	Инакс Шеннона – Уивера, N ^ш бит/л	Коэффициент трофности, E	Инакс сапробности, S
		Rotifera	Copepoda	Cladocera	Сумма						
Апрель	I	7,9±0,4*	0,9±0,2*	1,7±0,2	10,5±0,6	19,1±2,8*	0,02±0,0003*	2,3±0,1*	2,7±0,1*	22,4±2,3*	1,5±0,0
	II**	6,0	2,0	2,0	10,0	102,7	0,1	1,6	2,2	9,0	1,4
Май	I	9,4±0,6	1,6±0,2	4,0±0,3	15,0±0,9	41,3±9,4	0,2±0,004	2,6±0,1	2,3±0,1	14,7±1,4*	1,6±0,0
	II	7,8±2,3	2,8±0,9	6,5±1,4	17,0±3,4	125,9±108,4	0,3±0,1	2,4±0,4	2,5±0,2	6,0±2,0	1,6±0,1
Июнь	I	7,5±0,6	1,5±0,2	4,5±0,5	13,5±0,9	20,4±5,6	0,4±0,2	2,9±0,1*	2,2±0,1	19,5±5,1	1,7±0,0
	II	10,7±1,5	1,3±0,9	2,7±0,9	14,7±2,7	34,2±28,4	0,6±0,6	3,2±0,1	1,8±0,2	41,1±29,0	1,7±0,1
Июль	I	4,5±0,4*	1,0±0,2	2,9±0,4	8,4±0,7	4,0±1,3	0,04±0,02	2,4±0,1	2,3±0,1	7,7±1,3*	1,7±0,0
	II	3,0±0,6	1,0±0,6	2,7±0,9	6,7±0,9	2,1±1,0	0,01±0,01	2,2±0,3	2,4±0,0	3,2±1,1	1,7±0,0
Сентябрь	I	2,8±0,4	1,2±0,2	2,8±0,4*	6,8±0,8	2,5±1,5	0,02±0,01*	2,2±0,1	2,0±0,1	3,0±0,7	1,6±0,0
	II	2,7±0,3	0,7±0,3	1,3±0,3	4,7±0,7	1,0±0,2	0,01±0,001	1,9±0,3	1,8±0,2	4,7±2,3	1,5±0,1
Октябрь	I	3,2±0,3	0,9±0,1	1,8±0,2	5,9±0,5	0,7±0,1	0,01±0,0003	2,2±0,1	1,5±0,1	3,7±0,5	1,5±0,0
	II	3,2±1,2	0,8±0,2	1,8±0,7	5,8±1,5	0,3±0,1	0,003±0,001	2,5±0,2	1,8±0,3	5,2±3,3	1,5±0,1

Примечание: I – необогреваемая акватория; II – сбросные каналы; * – достоверные различия (p < 0,05); ** – ошибку среднего не подсчитывали из-за малой для статистической обработки выборки.

будет травмирование и непосредственная гибель организмов в воде, забираемой в системы охлаждения. Тем не менее, накопление ниже водосброса мертвых животных и превращение их в детрит будет способствовать повышению трофности вод р. Неман.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования, Копорская губа Финского залива и Белоярское водохранилище, служащие водоемами-охладителями действующих АЭС, характеризовались умеренным подогревом (средняя температура на водосбросе не превышала 27 °С) [1]. Различия между водоемами по температурному воздействию незначительны (в Копорской губе разница между температурой сбросной воды и необогреваемой акватории составляла в среднем 7,1 °С, в Белоярском водохранилище – 6,9 °С). Однако гидрографические характеристики водоемов, а также состав и количественные показатели зоопланктона значительно отличались, вследствие чего различался и отклик планктонных беспозвоночных на воздействие АЭС.

В Копорской губе на водосбросе ЛАЭС в большинстве случаев наблюдалось сокращение численности и биомассы зоопланктона в среднем в 3,5 раза, происходило сокращение обилия коловраток *Keratella cochlearis baltica*, *K. quadrata platei*, науплиусов веслоногих ракообразных и ветвистоусых ракообразных *Bosmina coregoni maritima*, массово развивающихся в необогреваемой акватории Копорской губы. В Белоярском водохранилище сброс теплых вод БАЭС в большинстве случаев способствовал увеличению численности планктонных беспозвоночных в среднем в 2,6 раза, биомассы – в 4,7 раза. Особенно сильное стимулирующее воздействие на развитие зоопланктона подогрев оказывал в середине лета, когда наблюдалось увеличение обилия коловраток *Keratella quadrata* и ветвистоусых ракообразных *Daphnia galeata*.

Зоопланктон р. Неман имел богатый видовой состав с высокой численностью отдельных видов, среди которых массового развития достигали коловратки, мелкие ветвистоусые и науплиусы веслоногих ракообразных. Высокая численность этих мелкоразмерных животных не обуславливала высоких значений биомассы. Наибольшие величины количественных показателей зоопланктона наблюдались в весенний период, в середине лета и осенью происходило значительное сокращение количественных показателей зоопланктона. Исследованный водоток испытывал постоянную антропогенную нагрузку, связанную со стоком с сельскохозяйственных территорий и поступлением загрязняющих веществ от мелких и крупных населенных пунктов. Наибольшая степень трофности и развитие организмов-индикаторов эвтрофных условий обнаружены в районах городов Гродно, Каунас, Юрбаркас и Неман.

После ввода в эксплуатацию БГАЭС ожидается, что влияние подогретых вод на биоресурсы р. Неман будет минимальным, основным фактором воздействия на зоопланктон станет травмирование и непосредственная гибель организмов в воде, забираемой в системы охлаждения.

Автор выражает благодарность сотрудникам Санкт-Петербургского отделения Института геоэкологии РАН, принимавшим участие в организации полевых работ и отборе проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Животова Е.Н. Использование зоопланктона в биоиндикации теплового загрязнения водоемов-охладителей АЭС // Вестник ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2007. № 1. С. 73–75.
2. Протасов А.А. Состав и распределение зоопланктона водоема-охладителя Хмельницкой АЭС // Гидробиологический журнал. 2004. Т. 40. № 4. С. 35–44.
3. Макушенко М.Е., Кулаков Д.В., Верещагина Е.А. Зоопланктон Копорской губы Финского залива в зоне воздействия Ленинградской АЭС // Гидробиологический журнал. 2014. Т. 50. № 2. С. 3–15.
4. Кулаков Д.В., Верещагина Е.А., Макушенко М.Е. Влияние Белоярской АЭС на зоопланктон водоема-охладителя // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 8. С. 38–43.
5. Кулаков Д.В., Верещагина Е.А., Макушенко М.Е., Лунева Е.В. Зоопланктон и гидрохимические условия трансграничной реки Неман в период строительства Балтийской АЭС // Вода: химия и экология. 2016. № 6. С. 46–55.
6. Лунева Е.В., Синдаловский Л.Н., Румынин В.Г. Прогноз теплового воздействия сбросных вод балтийской АЭС в период эксплуатации на основе численной гидродинамической модели р. Неман // Известия КГТУ. 2014. № 32. С. 63–73.
7. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 240 с.
8. Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР. Л.: Наука, 1970. 744 с.
9. Боруцкий Е.В., Степанова Л.А., Кос М.С. Определитель Calanoida пресных вод СССР. СПб.: Наука, 1991. 503 с.
10. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. М.: Тов-во научн. изд. КМК, 2010. 495 с.
11. Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana, 1963. 117 p.
12. Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas- und Wasserbach. 1955. 96 (18). 604 p.
13. Sladeček V. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. 1973. Vol. 7. P. 1–218.
14. Мязметс А.Х. Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. С. 54–64.
15. Митрахович П.А., Самойленко В.М., Карташевич З.К. и др. Экосистема водоема-охладителя Лукомской ГРЭС. Минск: Белорусский гос. ун-т, 2008. 192 с.

16. Протасов А.А. Состав и распределение зоопланктона водоема-охладителя Хмельницкой АЭС // Гидробиологический журнал. 2004. № 4. С. 35–44.
17. Карташева Н.В., Фомин Д.В., Попов А.В. и др. Оценка техногенного воздействия на зоопланктон водоемов-охладителей атомных и тепловых электростанций // Вестник Московского университета. Сер. 16. Биология. 2008. № 3. С. 30–35.

Для цитирования: Кулаков Д.В., *Применение показателей зоопланктона для оценки воздействия атомных электростанций на водоемы-охладители // Водное хозяйство России. 2020. № 5. С. 107–125.*

Сведения об авторе:

Кулаков Дмитрий Владимирович, канд. биол. наук, научный сотрудник, Санкт-Петербургское отделение ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук» (СПБО ИГЭ РАН), 199004, Россия, Санкт-Петербург, Средний пр. 41, оф. 519; главный специалист, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ), 199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9; e-mail: dvkulakov@mail.ru

**APPLICATION OF THE ZOO/PLANKTON INDICATORS FOR ASSESSMENT
OF THE NUCLEAR POWER PLANTS IMPACT UPON COOLING POOLS**

Dmitriy V. Kulakov^{1,2}

E-mail: dvkulakov@mail.ru

¹ *St. Petersburg Department of E.M. Sergeyev Institute of Geo/ecology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

² *St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

Abstract: The article discusses the outcomes of the researches of zoo/plankton of various type nuclear power plants cooling pools located in different in terms of hydrographic characteristics and zooplankton structure catchment basins. In Koporye Bay, a part of the Bay of Finland water area, discharge of warmed waters of Leningrad Nuclear Power Plant caused the decrease of plankton invertebrates' quantitative indicators. In the Beloyarsk Nuclear Power Plant cooling pool warming in the most cases was favorable for the zooplankton abundance and biomass increase. In both researched reservoirs the warm water discharge resulted in the decrease of the total species number in the communities. The Neman River (the Baltic Nuclear Power Plant designed receiver for waste waters) in the period of the research was not affected by the nuclear plant impact. As a whole, for this water course water area maximal values of zooplankton abundance and biomass have been registered during spring periods while their decrease has been observed in summer and autumn. The most degree of trophity was noted near towns of Grodno, Kaunas, Yurbarkas and Neman.

Key words: zooplankton, Leningrad Nuclear Power Plant, Koporye Bay, Beloyarsk Nuclear Power Plant, Beloyarsk Reservoir, Baltic Nuclear Power Plant, the Neman River, cooling pool.

Financing: the work has been carried out within the framework of the SPbGU Pure ID 35626971.

About the author:

Dmitriy V. Kulakov, Candidate of Biological Sciences, Researcher, St. Petersburg Department of E.M. Sergeyev Institute of Geo/ecology of the Russian Academy of Sciences, Sredniy Pr., 41-519, St. Petersburg, 199004, Russia; Chief Specialist, St. Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7/9, St. Petersburg, 199034, Russia; e-mail: dvkulakov@mail.ru

For citing: *Kulakov D.V. Application of Zoo/plankton Indicators for Assessment of the Nuclear Power Plants Impact upon Cooling Pools / Water Sector of Russia. 2020. No. 5. P. 107–125.*

REFERENCES

1. *Zhivotova Y.N.* Ispozovaniye ooplanktona v bioindikatsiyi teplovogo zagryazneniya vodoymov-okhladiteley AES [The use of zoo/plankton in bio/indication of thermal pollution of nuclear power stations cooling reservoirs] // *Vestnik VGU. Ser. Khimiya. Biologiya. Farmatsiya.* 2007. No. 1. Pp. 73–75.
2. *Protasov A.A.* Sostav i raspredeleniye zooplanktona vodyoma-okhladitelya Khmelnit-skoy AES [The Khmelnitsk cooling reservoir zoo/plankton composition and distribution] // *Gidrobioloicheskij zhurnal.* 2004. V. 40. No. 4. Pp. 35–44.
3. *Makushenko M.E., Kulakov D.V., Vereshchagina E.A.* Ziooplankton Koporskoy Guby Finskogo zaliva v zon vozdeystviya Leningradskoy AES [Zooplankton of Koporskaya bay of the Gulf of Finland in the zone of the influence of the Leningrad NPS] // *Gidrobioloicheskij zhurnal* 2014. Vol. 50. No. 2. Pp. 3–15.
4. *Kulakov D.V., Vereshchagina E.A., Makushenko M.E.* Vliyaniye Beloyarskoy AES na zoo/plankton vodoyma-okhladitelya [Beloyarsk Nuclear Power Station impact upon the cooling reservoir zoo/plankton] // *Ekologiya i promyshlennost Rossii.* 2017. Vol. 21. No. 8. Pp. 38–43.
5. *Kulakov D.V., Vereshchagina E.A., Makushenko M.E., Luneva E.V.* Zooplankton i gid-rokhimicheskiye usloviya transgranichnoy reki Neman v period stroitelstva Baltiyskoy AES [The transboundary Neman River zoo/plankton and hydro/chemical conditions during the Baltic Nuclear Power Station construction] // *Voda: khimiya i ekologiya.* 2016. No. 6. Pp. 46–55.
6. *Luneva E.V., Sindalovskiy L.N., Rumynin V.G.* Prognoz teplovogo vozdeystviya sbrosnykh vd Baltiyskoy AES v period ekspluatatsiyi naosnove chislennoy gidrodinamichskoy modeli r. Neman [Forecast of the Baltic nuclear power station discharge waters' thermal impact during the period of operation based on the Neman River digital hydrodynamic model] // *Izvestiya KGTU.* 2014. No. 32. Pp. 63–73.
7. *Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoymov* [Methods of the inland water bodies' bio/geo/cenosis studying]. M.: Nauka, 1975. 240 p.
8. *Kutikova L.A.* Kolovratki fauny SSSR [The USSR fauna Rotifera]. L.: Nauka, 1970. 744 p.
9. *Borutskiy E.V., Stepanova L.A., Kos M.S.* Opredelitel Calanoida presnykh vod SSSR [Determinant of the USSR fresh water Calanoida]. SPb.: Nauka, 1991. 503 p.
10. *Opredelitel zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Yevropeyskoy Rossii* [The European Russia fresh water zoo/plankton and zoo/benthos determinant]. Vol. 1. Zoo/plankton. M.: Tov-vo nauchn. izd. KMK, 2010. 495 p.
11. *Shannon C.E., Weaver W.* The mathematical theory of communication. Urbana, 1963. 117 p.

12. Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas- und Wasserbach. 1955. 96 (18). 604 p.
13. Sladeček V. System of water quality from the biological point of view // Arch. Hydrobiol. 1973. Vol. 7. P. 1–218.
14. Myaametis A.K. Izmeneniya zooplanktona [The zoo/plankton changes] // Antropogennoye vozdeystviye na maliye ozera. L.: Nauka, 1980. Pp. 54–64.
15. Mitrakhovich P.A., Samoylenko V.M., Kartashevich Z.K. et al. Ekosistema vodoyoma-okhladitelya Lukomskoy GRES [The Lukomsk power station cooling reservoir ecosystem]. Minsk: Belorusskiy gos. un-t, 2008. 192 p.
16. Protasov A.A. Sostav i raspredeleniye zooplanktona vodoyoma-okhladitelya Khmel'nitskoy AES [The Khmel'nitsk nuclear power station cooling reservoir zoo.plankton composition and distribution] // Gidrobioloicheskiy zhurnal. 2004. No. 4. Pp. 35–44.
17. Kartasheva N.V., Fomin D.V., Popov A.V. et al. Otsenka tekhnogen'nogo vozdeystviya nazoo/plankton vodoyomov-okhladitel'nykh i teplovikh elektrostantsiy [Assessment of technogenic impact upon zoo/plankton of nuclear and thermal power plants cooling reservoirs] // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 16. Biologiya. 2008. No. 3. Pp. 30–35.