

УДК 556.3: 551.435.36

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2019-1-23-38>

СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЙОНЕ ОТВОДА ПОДОГРЕТЫХ ВОД ОТ КОНАКОВСКОЙ ГРЭС*

Григорьева И.Л., Федорова Л.П., Чекмарева Е.А.

Иваньковская НИС – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт водных проблем Российской академии наук,
г. Конаково, Тверская область

Проведены исследования влияния подогретых вод, отводимых от турбин Конаковской ГРЭС в Мошковичский залив Иваньковского водохранилища, на гидроэкологическое состояние залива. Установлено, что из-за поступления теплых вод температура воды в заливе выше, чем в самом водохранилище в различные периоды на 3.5-8.5⁰С. С момента создания отводящего канала (середина 60-х гг. XX века) к настоящему времени в Мошковичском заливе произошла замена одних ассоциаций высшей водной растительности другими. В отводящем канале от ГРЭС зафиксированы более высокие, чем в фоновом створе, концентрации ряда тяжелых металлов и максимальные концентрации сульфат-аниона, аммонийного и нитрит-иона. Уровень загрязнения донных отложений Мошковичского залива по водорастворимым формам металлов «высокий», а экологическая обстановка «опасная». Значительный постоянный подогрев на локальных участках водоема-охладителя приводит к снижению показателей обилия зообентоса.

Ключевые слова: *Иваньковское водохранилище, Мошковичский залив, температурный режим, химический состав воды, донные отложения, зообентос, высшая водная растительность.*

К числу весьма значимых видов антропогенного воздействия относится тепловое загрязнение водной среды, основными источниками которого являются тепловые и атомные электростанции. При постоянном сбросе большого объема подогретых вод на значительной площади акватории водоема-охладителя изменяется температурный режим водной среды, что влияет на жизнедеятельность сообществ водных организмов, в частности зообентоса, и на развитие высшей водной растительности.

Зообентос, наряду с другими представителями водной фауны, является важным компонентом экосистемы водоема. Изучение влияния на него подогретых сбросных вод необходимо при разработке программ

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Тверской области в рамках научного проекта № 18-45-690001.

по созданию экологического мониторинга водоемов-охладителей АЭС и ТЭС.

Целью наших исследований явилось изучение влияния сброса подогретых вод крупным объектом теплоэнергетики Тверской области (Конаковская ГРЭС) на качество воды, донные отложения, зообентос и высшую водную растительность водоема-охладителя, которым является Мошковичский залив Иваньковского водохранилища.

Иваньковское водохранилище, созданное в 1937 г. – первая ступень Волжско-Камского каскада водохранилищ. Полный объем водохранилища равняется 1.12 км^3 , площадь водного зеркала – 327 км^2 , длина порядка 111 км, средняя глубина – 3.4 м, площадь мелководий с глубиной до 2 м составляет 48% от водного зеркала. Водоохранилище осуществляет сезонное регулирование стока, сработка уровня здесь происходит в период с декабря по март и достигает 3.5 - 4.5 м. Ледоставный период длится обычно с конца ноября - первой декады декабря до второй-третьей декады апреля.

Водоохранилище используется для водоснабжения, водоотведения, судоходства, рекреации, любительского рыболовства, производства электроэнергии на Иваньковской ГЭС и охлаждения турбин Конаковской ГРЭС.

Конаковская ГРЭС расположена на берегу Иваньковского водохранилища в 3 км ниже по течению от г. Конаково Тверской области и является одним из крупнейших поставщиков электроэнергии и тепла в регионе. Установленная электрическая мощность электростанции составляет 2520 МВт, тепловая мощность – 120 Гкал*час. [16].

Строительство Конаковской ГРЭС началось в 1962 г. и закончено в 1969 г. С 1972 г. электростанция вышла на полную проектную мощность – 2400 МВт. До 1982 г. Конаковская ГРЭС работала на жидком топливе, сжигая в сутки 7-10 тысяч тонн высокосернистого мазута, поставляемого по железной дороге. С середины-конца 80-х годов электростанция переведена на природный газ и работает на нём по настоящее время.

Система технического водоснабжения станции прямоточная. Забор воды из водохранилища осуществляется двумя береговыми насосными станциями (БНС) на блоки первой и второй очереди. Средний забор воды около $30\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ на энергоблок. Отвод воды осуществляется по отводящему каналу в Мошковичский залив. На территории электростанции канал подземный, состоящий из четырёх железобетонных ниток. За пределами территории канал открытый, его длина 2.4 км [17].

В Мошковичский залив также поступают сточные воды с очистных сооружений г. Конаково.

Мошковичский залив имеет площадь около 700 тыс. м². В залив впадает река Малиновка, устье которой находится в подпоре. Скорости течения воды в канале изменяются в диапазоне 0.3-1.1 м/с, пропускная способность - около 30 м³ воды в секунду. Скорость течения воды уменьшается в четыре раза с момента впадения в Мошковичский залив сбросного канала («сброс») до устья залива. Залив мелководен, глубина, в среднем, составляет 3.5 м, в устье – до 4.5 м. Прозрачность воды изменяется, в основном, от 0.8 до 1.2 м.

Морфометрические характеристики Мошковичского залива и степень его зарастания, по нашим данным, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Морфометрические характеристики и степень зарастания Мошковичского залива Иваньковского водохранилища

Наименование водного участка	Площадь, тыс. м ²	Длина береговой линии, м	Ширина/глубина, м	Зарастание, <u>прав./лев. берег</u> , тыс. м ² всего, %
Мошковичский залив	700	8711	140-500/ 2.3-4.5	<u>63.94/28.26</u> 13.7
Река Малиновка (в подпоре)	29.02	1542	5-113/ 1,3	<u>20.0</u> 68.9
Отводящий канал	91.42	5161	40-55/ 2.4-4.0	<u>1.63/3.55</u> 5.7
Всего:	791.31	15414	-	<u>117.38</u> 14.8

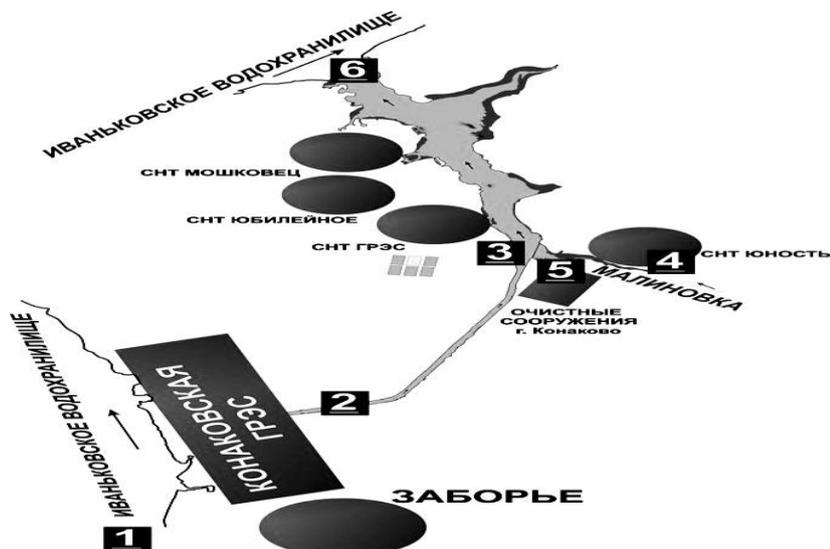
Точки отбора проб воды, донных отложений и зообентоса представлены на рис. 1.

Исследования проводились нами в течение 2017-2018 гг. Химический анализ проб воды и донных отложений был выполнен в аккредитованной лаборатории Иваньковской НИС - филиала Института водных проблем РАН по общепринятым методикам.

Сбор и обработку проб зообентоса проводили стандартными методами, принятыми в гидробиологических исследованиях [6], что дает возможность сравнения полученных данных с материалами других исследований.

Исследования показали, что в Мошковичском заливе заросли высшей водной растительности формируются вдоль правого берега, либо в бухтах залива, на участках с замедленным водообменом. Водная растительность приурочена к местам скопления илистых донных отложений (сброс с очистных сооружений г. Конаково, подпорный

участок р. Малиновка, вдоль берегов залива). Река Малиновка (в подпоре) сильно заросла (до 68.9 % площади участка). Общая степень зарастания Мошковичского залива составляет 14.8 % (табл. 1, рис. 1), что сопоставимо с данными 1998 г. [8], когда степень зарастания составила 15 %.



Р и с. 1 - Карта-схема Мошковичского залива (Иваньковское водохранилище) с точками отбора проб

Точки отбора проб: 1 - Иваньковское вдхр., д. Заборье (фон), 2 - начало отводящего канала ГРЭС, 3 - сброс с отводящего канала ГРЭС в Мошковичский залив, 4 – устье р. Малиновка (в подпоре), 5 - сброс с очистных сооружений г. Конаково, 6 – устье залива

Данные о видовом разнообразии высшей водной растительности Мошковичского залива в период строительства отводящего канала (1965-1966, 1969 гг.) [12], в период экспедиционных исследований 1986-1996 гг. [1] и 2017-2018 гг. [данные авторов] представлены в табл. 2.

В период строительства отводящего канала (1965-1966 гг.), а также в 1969 г. сотрудниками ИБВВ РАН [12] были проведены исследования, в ходе которых были сделаны выводы, что некоторые виды высшей водной растительности начали проявлять приспособленность к новому термическому режиму, увеличились площади доминирующих видов - тростника обыкновенного *Phragmites communis* Trin. и рогоза узколистного *Typha angustifolia*. По наблюдениям сотрудников ИБВВ РАН в 1995, 1998, 2001 гг. [8] к доминирующим видам были отнесены манник большой *Glyceria aquatica* (L.) Wahlb., уруть колосистая *Myriophyllum spicatum* L., рдест пронзеннолистный *Potamogeton perfoliatus* L.

Т а б л и ц а 2

Видовой состав высшей водной растительности в Мошковичском заливе в различные годы: 1 – [12], 2 – [1], 3 – [данные авторов]

№	Название растения	1	2	3
1.	Водяной орех (чилиим) <i>Trapa natans</i> L.	+	+	+
2.	Горец земноводный <i>Persicaria amphibian</i> (L.) S. F. Gray	+	+	+
3.	Ежеголовник всплывающий <i>Sparganium emersum</i> Rehm	+		
4.	Жерушник земноводный <i>Rorippa amphibia</i>	+		
5.	Камыш озерный <i>Scirpus lacustris</i> L.	+	+	+
6.	Кубышка желтая <i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith		+	+
7.	Кувшинка чисто-белая <i>Nymphaea candida</i> J. et C. Presl.	+	+	+
8.	Манник большой <i>Glyceria aquatica</i> (L.) Wahlb.	+	+	+
9.	Многокоренник обыкновенный <i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Schleid	+	+	+
10.	Наяда морская <i>Najas marina</i> L.	+	+	+
11.	Осока острая <i>Carex acuta</i> L.	+		+
12.	Рдест блестящий <i>Potamogeton lucens</i> L.	+	+	+
13.	Рдест курчавый <i>Potamogeton crispus</i>	+		
14.	Рдест пронзеннолистный <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.		+	+
15.	Рдест травяной <i>Potamogeton gramineus</i> L.		+	
16.	Рдест туполистный <i>Potamogeton obtusifolius</i>	+		
17.	Риччиокарпус плавающий <i>Ricciocarpus natans</i>	+		
18.	Рогоз широколистный <i>Typha latifolia</i> L.	+		+
19.	Рогоз узколистый <i>Typha angustifolia</i>	+		+
20.	Ряска малая <i>Lemna minor</i> L.		+	+
21.	Стрелолист стрелолистный <i>Sagittaria sagittifolia</i> L.		+	+
22.	Сусак зонтичный <i>Butomus umbellatus</i> L.	+	+	+
23.	Телорез алоэвидный <i>Stratiotes aloides</i> L.	+	+	+
24.	Тростник обыкновенный <i>Phragmites communis</i> Trin. = <i>australis</i> Cav.	+	+	+
25.	Уруть колосовая <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	+	+	+
26.	Хвощ речной <i>Equisetum fluviatile</i> L.	+		+

Урожайность фитомассы тростника обыкновенного *Phragmites communis* Trin. (в воздушно-сухом состоянии) составила 1.34 кг/м² в августе 1969 г. [12] и 1.43 кг/м² в августе 2018 г. (табл. 3). Из этого следует, что урожайность фитомассы тростника обыкновенного *Phragmites communis* Trin. с конца 60-х гг. XX века по настоящее время практически не изменилась.

Т а б л и ц а 3

Фитомасса высшей водной растительности в Мошковичском заливе и фоновом створе, август 2018 г., кг/м²

Наименование водного растения	Урожайность фитомассы			
	Мошковичский залив		Фоновый створ	
	сырой	возд.-сухой	сырой	возд.-сухой
Тростник обыкновенный <i>Phragmites communis</i> Trin.	5.2	1.43	1.92	0.86
Рогоз широко- и узколистный <i>Typha angustifolia+latifolia</i>	3.6	1.59	1.94	0.79

Исследования авторов в 2017-2018 гг. показали, что урожайность фитомассы рогоза узколистного *Typha angustifolia* и тростника обыкновенного *Phragmites communis* Trin., произрастающего в заливе, в 1.5-3 раза выше, чем на фоновом участке Ивановского водохранилища (табл. 3).

По данным исследований [1, 12] и собственным наблюдениям установлено, что с момента создания отводящего канала (середина 60-х гг. XX века) в Мошковичском заливе произошла замена одних ассоциаций высшей водной растительности другими. Некоторые виды, такие как: ежеголовник всплывающий *Sparganium emersum* Rehm, жерушник земноводный *Rorippa amphibia*, рдест курчавый *Potamogeton crispus*, рдест туполистный *Potamogeton obtusifolius*, риччиокарпус плавающий *Ricciocarpus natans* с середины 90-х по настоящее время в заливе не отмечались. Доминирующим видом среди воздушно-водных растений в Мошковичском заливе в настоящее время по-прежнему остается тростник обыкновенный *Phragmites communis* Trin.

Для водоемов с повышенным температурным режимом характерно появление и расселение адвентивных видов высшей водной растительности. Этот факт не раз отмечали многие авторы [1, 8, 12]. В

Мошковичском заливе это водяной орех (чилиим) *Trapa natans* L. и наяда морская *Najas marina* L.

Адвентивные виды составляют конкуренцию местным видам, и могут выживать их из зон постоянного обитания. В площадном покрытии залива лидирующие позиции занимает водное растение с плавающими листьями, включенное в Красную книгу РФ – рогульник плавающий или чилиим *Trapa natans* L. (рогульник). Впервые на Иваньковском водохранилище этот вид замечен в Новосельском заливе [12], а в Мошковичском заливе – в 1995 г. [8]. Потери веса рогульника при сушке до абсолютно сухого состояния составляют более 90%. Это связано с высоким содержанием белковых веществ и крахмала [10] в теле растения. За счет процесса связывания белками воды (гидратацией) фитомасса рогульника значительна (до 0.138 кг). Розетки рогульников в Мошковичском заливе достигают диаметра 35 см, среднее количество листьев на розетках - 25 шт., длина стеблей – 2.5 м, число плодов - до 11 шт. Благоприятными факторами для существования рогульника является степень прогревания воды [4] и аэрация водоемов [2], их проточность. Поэтому искусственно подогретые воды Мошковичского залива аэрированные (более 82% насыщения O_2), благодаря перемешиванию у «сброса» (искусственный водопад), подходят для интенсивного развития и роста рогульника плавающего. Донные иловые отложения - питательная среда для этого растения. Отмечен его рост в местах высокой антропогенной нагрузки (район сброса сточных вод с очистных г. Конаково), несмотря на чувствительность вида к изменению гидрологического режима и загрязнению водоема.

Диапазоны изменения основных гидрохимических характеристик в фоновом створе, отводящем канале от Конаковской ГРЭС, на участке поступления сточных вод с очистных сооружений г. Конаково и в устье Мошковичского залива в 2018 г. представлены в таблицах 4 и 5.

Температура отводимых вод от Конаковской ГРЭС в период наблюдений была на 6-8.8 °С выше, чем в фоновом створе, а в устье залива по отношению к фону температура воды была выше на 3.5-5.0 °С.

Исследование качества воды показало, что воды залива относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, по степени минерализации являются пресными, по величинам жесткости – мягкими, по значениям рН - слабощелочными и щелочными.

Значения рН и жесткости мало отличаются друг от друга во всех створах наблюдений.

Максимальные концентрации сульфат-аниона, аммонийного и нитрит-иона в отводящем канале и в районе сброса сточных вод были значительно выше, чем в фоновом створе. Наибольшие концентрации хлоридов и нитратов были зафиксированы в районе поступления сточных вод от г. Конаково.

Химический состав воды Ивановского водохранилища в районе сброса подогретых вод от Конаковской ГРЭС и сточных вод от г. Конаково в 2018 г., в (V) - месяц

Показатель	Фоновый створ	Отводящий канал от ГРЭС	Сброс в районе о/с г. Конаково	Устье Мошковицкого залива
рН, ед. рН	7.0 (I) - 8.5 (VI)	7.0 (II) - 8.3 (VI, VII)	7.0 (II) - 8.2 (VI)	7.1 (II) - 8.3 (VI)
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	1.8 (IV) - 3.34 (III)	1.8 (IV) - 3.2 (III, IX)	2.6 (IV) - 3.7 (II)	1.8 (IV) - 3.0 (V, IX)
Сульфат-ион, мг/дм ³	9.3 (I) - 15.5 (VII)	6.3 (V) - 22.4 (II)	11.6 (09) - 32.5 (II)	6.5 (V) - 20.7 (II)
Хлорид-ион, мг/дм ³	4.7 (IV) - 9.4 (III)	4.5 (I, II) - 8.6 (VII)	4.6 (IX) - 19.1 (I)	4.5 (I, II) - 9.1 (VII)
Железо общее, мг/дм ³	0.03 (VII) - 0.50 (III)	0.04 (VII, IX) - 0.48 (III)	0.03 (09) - 0.39 (II)	0.03 (VII) - 0.46 (III)
Марганец, мг/дм ³	0.04 (II, IV, IX) - 0.26 (III)	0.03 (VII) - 0.12 (II)	0.0 (V, IX) - 0.26 (II)	0.01 (VII) - 0.13 (III)
Фосфор общий растворимый, мгР/дм ³	0.05 (VII) - 0.07 (II)	0.041 (III) - 0.086 (VII)	0.096 (VI) - 1.14 (I)	0.054 (VI) - 0.125 (IX)
Аммонийный ион, мг/дм ³	0.10 (VII) - 0.58 (II)	0.10 (V) - 1.41 (IV)	0.10 (V) - 2.4 (I)	0.10 (V) - 0.63 (II)
Нитритный-ион, мг/дм ³	0.002 (VII) - 0.018 (VI)	0.0069 (I) - 0.124 (VII)	0.023 (IV) - 0.26 (II)	0.009 (I, II) - 0.040 (IX)
Нитратный ион, мг/дм ³	0.46 (IX) - 2.3 (IV)	0.52 (IX) - 2.5 (IV)	1.5 (VI, IX) - 21.6 (I)	0.62 (VI) - 2.9 (IV)
Цветность, град. Рт-Со шкалы	30 (IX) - 75 (I, II, IV)	30 (IX) - 90 (I)	30 (IX) - 83 (IV)	30 (IX) - 90 (I)
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	9.1 (IX) - 15.0 (II)	7.4 (VII) - 16.0 (I)	8.0 (VII) - 13.1 (V)	9.0 (VII) - 16.0 (I)
БПК ₅ , мгО/дм ³	0.8 (I) - 5.1 (VI)	0.8 (IV) - 3.6 (VI)	0.2 (IV) - 3.9 (IX)	0.7 (V) - 3.2 (VI)
ХПК, мгО/дм ³	14.4 (III) - 21.6 (IV)	17.7 (VI) - 35.5 (V)	17.7 (VI) - 27 (V)	10.0 (III) - 25.6 (V)
% насыщения кислорода	49.3 (III) - 121.8 (VII)	62.4 (IX) - 89.2 (VI)	65 (IX) - 91 (VI)	67.3 (IX) - 90.2 (V)
Температура воды, °С	0.0 - 24.3 (VII)	8.6 (I) - 30.5 (IX)	4.0 (II) - 28.3 (IX)	3.5 (I) - 29.2 (VII)
Минерализация, мг/дм ³	162 (IV) - 303 (I)	182 (IV) - 285 (III)	243 (V) - 392 (II)	175 (IV) - 293 (VII)

В водах отводящего канала наблюдались повышенные относительно фона концентрации свинца, меди и хрома (табл. 5).

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в пробах воды Мошковичского залива и Средневожского плеса Иваньковского водохранилища в зимне-весенний период 2018 г.
(фоновый створ/отводящий канал от ГРЭС /устье залива)

Ингредиент, мг/дм ³	Дата отбора			
	16.01	14.02	26.03	24.04
Цинк	0.0238/0.0172/ 0.0230	0.0542/0.0195/ 0.0114	0.0143/0.0190/ 0.0201	0.0330/0.0093/ 0.0103
Свинец	0.0043/0.0100/ 0.0061	0.0076/0.0098/ 0.0088	0.0081/0.0054/ 0.0135	0.0043/0.0043/ 0.0016
Медь	0.0046/0.0062/ 0.0060	0.0039/0.0088/ 0.0063	0.0040/0.0077/ 0.0070	0.0060/0.0073/ 0.0064
Хром	0.0007/0.0016/ 0.0006	0.0009/0.0028/ 0.0023	0.0019/0.0022/ 0.0009	0.0043/0.0058/ 0.0064

Донные отложения (ДО) Мошковичского залива представлены илами в зоне сброса с очистных сооружений г. Конаково, в районе подпорного участка р. Малиновка и у берегов залива. Большая часть дна залива занята суглинками с включениями гравия, по левому берегу встречаются песчаные насыпи, ближе к устью наблюдаются супеси с примесью ила.

Таблица 6

Значения pH, концентрации главных ионов (в мг/кг) и биогенных элементов в пробах ДО Мошковичского залива Иваньковского водохранилища, лето 2017 г.

Место отбора	pH КСl	Fe _{общ.}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
	ед. pH	мг/кг					мгN/кг	
Устье	7.4	1291	1904.4	734.46	114	3.2	2.5	0.7
Район очистных сооружений г. Конаково	5.9	11186	12192.3	2614.40	1584	17.2	7.0	28.0
СНТ «Юность», выше ОС	6.8	3519	3456.9	1045.76	1216	3.2	2.2	13.0

Максимальные концентрации Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Fe}_{\text{общ.}}$, NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- в пробах ДО были отмечены в районе поступления стоков с очистных сооружений г. Конаково. Выше очистных сооружений в подпоре находится р. Малиновка, в ДО которой отмечены повышенные концентрации Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Fe}_{\text{общ.}}$, NO_3^- , SO_4^{2-} (табл. 6).

Для определения формулы геохимической ассоциации, характеризующей качественный состав и структуру возможной геохимической аномалии, мы воспользовались коэффициентами концентрации K_c водорастворимых форм металлов (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Концентрации водорастворимых форм тяжелых металлов (мг/кг) в пробах ДО Мошковичского залива Иваньковского водохранилища, лето 2017 г.

Место отбора	Cu	Pb	Zn	Cr
Устье	0.040	не обн.	0.033	не обн.
Район очистных сооружений г. Конаково	0.207	не обн.	11.436	не обн.
СНТ «Юность»/выше ОС	0.041	не обн.	0.206	не обн.

Коэффициент концентрации химического элемента K_c (1), характеризует интенсивность аномалии элемента в донных отложениях зоны загрязнения относительно его фонового содержания:

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi}}, \quad (1)$$

где C_i – средняя концентрация i -го элемента в исследуемом объекте, мг/кг;

C_{ϕ} – фоновая концентрация этого элемента, мг/кг [7, 13].

При обработке данных в качестве фонового значения (C_{ϕ}) мы использовали минимальные значения концентрации для каждого элемента, определяемого в составе ДО.

Используя результаты K_c можно составить формулу геохимической ассоциации. Она характеризует элементный состав и структуру геохимической аномалии (например, возможного источника воздействия) [13]. В формулу геохимической ассоциации мы включали упорядоченную по значениям K_c совокупность (ранжированный ряд) химических элементов со значением K_c не менее 1.5.

Геохимические ассоциации для различных участков Мошковичского залива выглядят следующим образом: $\text{Zn}_{346.5}\text{-Fe}_{8.7}\text{-Cu}_{5.1}$

(район очистных сооружений г. Конаково), $Zn_{6.2}-Fe_{2.7}$ (СНТ «Юность», подпорный участок р.Малиновка). Для сравнения геохимические ассоциации по Иваньковскому водохранилищу (фоновый створ) представлены следующей формулой: $Zn_{9.0}-Fe_{5.1}$.

Для расчета средней интенсивности полиэлементной геохимической аномалии мы использовали коэффициент среднего накопления химических элементов R_x (2) (вариант коэффициента накопления Р. Моксхэма) [15].

R_x рассчитывается, как среднее арифметическое суммы значений K_c элементов, входящих в техногенную геохимическую ассоциацию:

$$R_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{C_{\phi}} \right), \quad (2)$$

где C_i – концентрация i -го элемента в изучаемом компоненте;

C_{ϕ} – фоновое содержание компонента;

n – количество элементов, входящих в ассоциацию ($N_{\text{э}}$), у которых K_c не менее 1.5 [7].

Коэффициент среднего накопления химических элементов R_x для исследованных проб донных отложений, отобранных в Мошковичском заливе, составил 45.1 единиц за счет формирования геохимической аномалии цинка в районе очистных сооружений.

Еще один, часто используемый показатель при оценке уровня техногенного загрязнения водотока – суммарный показатель загрязнения Z_c (3) [7, 9]. Он отражает аддитивное превышение фонового уровня группой ассоциирующихся элементов [11]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1), \quad (3)$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го химического элемента,

n – число, равное количеству химических элементов, входящих в геохимическую ассоциацию ($N_{\text{э}}$).

Суммарный показатель загрязнения Z_c для Мошковичского залива по нашим данным – 122.4. Согласно ориентировочной шкале оценки загрязнения по интенсивности накопления химических элементов в ДО [7], уровень загрязнения ДО Мошковичского залива по водорастворимым формам металлов «высокий», а экологическая обстановка – «опасная».

Мошковичский залив рассматривается нами как самостоятельная система со специфическими условиями среды: вытянутая форма залива с небольшим числом затишных мелководий, значительная проточность, обусловленная скоростным потоком сбросных вод ГРЭС, повышенная температура воды, бедные органикой грунты.

Эти условия являются определяющими в формировании донной фауны, в состав которой входят, в основном, мелкие формы личинок

хириноид и олигохеты. Моллюски, как правило, встречаются только в устьевой зоне залива и по затишным мелководьям, где также обитают такие представители донных организмов, как пиявки, личинки ручейников, поденок (в наших исследованиях зафиксированы только личинки гелеид).

За период наблюдений на песчано-галечных грунтах залива отмечено 16 таксонов донных организмов (2 вида олигохет родов *Limnodrilus* и *Tubifex*, 12 видов личинок подсемейств *Chironominae* и *Tanypodinae*, 2 вида моллюсков pp. *Sphaerium* и *Pisidium*).

Илистые биотопы затишных мелководий характеризовались незначительным числом таксонов (5 видов семейства *Chironomidae* и два вида олигохет - *Limnodrilus hoffmeisteri* Clap. и *Tubifex tubifex* Mull.).

Уровень развития зообентоса в заливе был достаточно высоким. Этому способствовали как комфортные температурные условия, так и грунт с небольшим количеством органики. В зоне сильного подогрева заметно угнетение жизнедеятельности донных организмов (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

Численность и биомасса зообентоса ($\frac{\text{экз./м}^2}{г/м^2}$) в Мошковичском заливе и Средневолжском плесе Иваньковского водохранилища летом 2017-2018 гг.

Группы организмов	Зоны воздействия сбросных теплых вод					
	2017 г.			2018 г.		
	Сильный подогрев	Умеренный подогрев	Контроль	Сильный подогрев	Умеренный подогрев	Контроль
Олигохеты	$\frac{320}{0.16}$	$\frac{360}{0.84}$	$\frac{603}{0.99}$	$\frac{80}{0.08}$	$\frac{2080}{3.28}$	$\frac{513}{0.62}$
Хириноиды	$\frac{140}{0.78}$	$\frac{600}{1.76}$	$\frac{400}{0.73}$	-	$\frac{320}{2.24}$	$\frac{432}{1.21}$
Моллюски	-	$\frac{20}{0.15}$	$\frac{63}{0.42}$	-	-	$\frac{37}{0.03}$
Прочие	-	-	$\frac{53}{0.01}$	-	$\frac{160}{0.56}$	$\frac{10}{0.02}$
Всего	$\frac{460}{0.94}$	$\frac{980}{2.75}$	$\frac{1119}{2.15}$	$\frac{80}{0.08}$	$\frac{2560}{6.08}$	$\frac{992}{1.88}$

По материалам некоторых исследований повышение температуры воды на 6-10°C выше фоновых является лимитирующим фактором для развития донных организмов [5]. Однако, некоторые авторы [3, 5, 14] считают, что повышение температуры водной среды оказывает второстепенное влияние на структурно-функциональные характеристики бентосных беспозвоночных, так как существуют факторы, определяющие состояние экосистемы водоема на данный момент

времени, такие как: температура воды водоема в определенный сезон года, объем и температура сбросных вод (режим работы АЭС/ГРЭС), гидрометеорологические условия (ветро-нагонные явления, скорость течения). Первостепенное значение в жизнедеятельности донных сообществ, по общепринятому мнению, имеет тип грунтов.

Наряду с приуроченностью донных организмов к различным биотопам, также большое значение имеет наличие в составе зообентоса эвритермных форм, среди которых встречаются как личинки хирономид, так и олигохеты.

Выводы

Проведенные исследования воздействия подогретых вод Конаковской ГРЭС на гидроэкологическое состояние водоема-охладителя (Мошковичский залив Иваньковского водохранилища) позволяет сделать следующие выводы:

- из-за поступления теплых вод температура воды в заливе выше, чем в самом водохранилище, в различные периоды на 3.5-8.5⁰С;
- с момента создания отводящего канала (середина 60-х гг. XX века) в Мошковичском заливе произошла замена одних ассоциаций высшей водной растительности другими;
- урожайность фитомассы рогоза узколистного *Typha angustifolia* и тростника обыкновенного *Phragmites communis* Trin., произрастающих в заливе, в 1.5-3 раза выше, чем на фоновом участке Иваньковского водохранилища;
- в отводящем от ГРЭС канале зафиксированы более высокие, чем в фоновом створе, концентрации ряда тяжелых металлов и максимальные концентрации сульфат-аниона, аммонийного и нитрит-иона;
- уровень загрязнения ДО по водорастворимым формам металлов «высокий», а экологическая обстановка – «опасная»;
- придонные слои воды менее подвержены прогреву, это зависит от сезона года (зима, весна, осень) и гидролого-метеорологических условий (скорость потока, ветро-нагонные явления, объем поступающей подогретой воды), поэтому видовой состав и биомасса зообентоса в большей степени зависят от типа грунтов;
- уменьшение или увеличение количественных показателей мягкого бентоса, в основном, связаны с вылетом амфибиотических насекомых (в основном хирономид), а также с выеданием донных организмов рыбами-бентофагами;
- значительный постоянный подогрев на локальных участках водоемов-охладителей, превышающий фоновые значения температуры воды на 6-10⁰С, приводит к снижению показателей обилия зообентоса.

Список литературы

1. Абакумов В. А., Ахметьева Н. П., Бреховских В. Ф. и др. Ивановское водохранилище: современное состояние и проблемы охраны. Москва: Наука. – 2000. – 344 с.
2. Агаева И.В., Чистякова А.А. О распространении рогульника плавающего (Трапа Natans L.) в Пензенской области и особенностях его экологии // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. Пенза: ПГПУ им. В.Г. Белинского. №25. – 2011. – С. 29-34.
3. Безносков В.Н., Суздалева А.Л. Экзотические виды фитобентоса и зообентоса водоемов-охладителей АЭС как индикаторы теплового загрязнения // Вестник МГУ. Серия 16 «Биология», №3. – 2001. – С. 27-31.
4. Кулуев Б.Р., Артюхин А.Е., Шевченко А.М., Михайлова Е.В. Водяной орех плавающий Трапа L.: биология, ареал распространения и исследование его изолированных популяций в озерах Нуримановского района республики Башкортостан // Биомика. Уфа: ФГБУН ИБГ УНЦ РАН. Том 9, №2. – 2017. – С. 101-118.
5. Лунева Е.В. Оценка влияния атомных электростанций России на экосистемы водоемов охладителей // Известия КГТУ, №34. – 2014. – С.20-33.
6. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. Л.: ГосНИОРХ. – 1983. – 33 с.
7. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Утв. 5.02.99 г. – 1999. – 19 с.
8. Папченков В.Г., Лисицына Л.И., Бобров А.А., Чемерис Е.В. Высшие водные растения // Экологические проблемы Верхней Волги. Под ред. А.И. Копылова – Ярославль: изд-во ЯГТУ. – 2001. – 427 с.
9. Приказ №112 Минприроды России «Об утверждении методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов». Утв. 24.02.2014 г. – 2014. – 14 с.
10. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав и использование. Семейства Hydrangeaceae-Naloragaceae // Ред. П. Д. Соколова. – Л.: Наука, 1987. – С. 206-207.
11. Саев Ю.Е. Антропогенные геохимические аномалии (особенности, методика изучения и экологическое значение)

- //автореферат диссертации д-ра геол.-мин. наук. – М.: ИМГРЭ. – 1982. – 53 с.
12. Экзерцев В.А., Лисицина Л.И. Растительность нижнего плеса Иваньковского водохранилища и влияние на нее подогретых вод Конаковской ГРЭС //Труды ИБВВ «Экология организмов водохранилищ-охладителей», Ленинград: изд-во Наука, Вып. 27 (30). – 1975 г. – 292 с.
 13. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). Москва: ИМГРЭ. – 2002. – 52 с.
 14. Яныгина Л.В. Экология сообществ донных беспозвоночных в водоемах-охладителях тепловых электростанций Сибири//Водные ресурсы. Т.38, №5. – 2011. – С. 618-630.
 15. Moxham R.L. Minor element distribution in some metamorphic pyroxenes //Can. Mineral. – 1960, v. 6, – p. 522-545.
 16. <https://www.enelrussia.ru/ru/about-us/konakovskaya-gres.html> (дата обращения 18 декабря 2018 г.)
 17. <https://www.wikipedia.org> (дата обращения 18 декабря 2018 г.)

**RECENT HYDROECOLOGICAL CONDITION OF THE
IVANKOVSKOYE RESERVOIR IN THE VICINITY OF DISCHARGE
OF THERMALLY ENRICHED WATERS
FROM THE KONAKOVSKAYA STATE DISTRICT POWER PLANT
(GRES)**

Grigoryeva I.L., Fedorova L.P., Chekmareva E.A.

The Ivankovskaya Research Station - branch of the Institute of Water
Problems of the Russian Academy of Sciences, Konakovo town, Tver region

Studies of the effect of thermally enriched waters that discharge from the turbines of the Konakovskaya GRES to the Moshkovichsky bay of the Ivankovskoye reservoir on the hydroecological condition of the bay. Because of incoming warm water in the bay water temperature is higher than in the reservoir at various time periods at 3.5-8.5 degrees Celsius. Since the creation of the discharge channel (in the 1960s of XX century) in Moshkovichsky bay was the replacement of some associations of higher aquatic vegetation others. In a discharge channel from the effluent Konakovskaya state district power plant (GRES) found high concentrations of heavy metals and the maximum concentration of sulphate ion, ammonium and nitrite ion in comparison with the background. Bottom sediment pollution level Moshkovichsky bay of mobile forms of heavy metals - high and environmental conditions - dangerous. Permanent of discharge of thermally enriched waters leads to lower the number of zoobenthos in local areas of the cooler-reservoir.

Keywords: *Ivankovskoye reservoir, Moshkovichsky bay, temperature, chemical composition of water, bottom sediment, zoobenthos, higher aquatic vegetation.*

Об авторах:

ГРИГОРЬЕВА Ирина Леонидовна - кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Ивановская НИС – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт водных проблем РАН (171251, г. Конаково, Тверская область, ул. Белавинская, д. 61-А), e-mail: irina_Grigorieva@list.ru

ФЕДОРОВА Людмила Парамоновна – старший инженер, Ивановская НИС – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт водных проблем РАН (171251, г. Конаково, Тверская область, ул. Белавинская, д. 61-А), e-mail: ludmila-54@mail.ru

ЧЕКМАРЕВА Екатерина Александровна - младший научный сотрудник, Ивановская НИС – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт водных проблем РАН (171251, г. Конаково, Тверская область, ул. Белавинская, д. 61-а), e-mail: s_taya@list.ru