

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГРУНТОВОГО КОМПЛЕКСА ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛГИ\*

### СООБЩЕНИЕ 5. ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ И КАЧЕСТВО ВОДЫ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2018 г. В.В. Законнов<sup>1</sup>, И.Л. Григорьева<sup>2</sup>, А.В. Законнова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова  
Российской академии наук», пос. Борок, Ярославская обл., Россия

<sup>2</sup> ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук»,  
Москва, Россия

**Ключевые слова:** Иваньковское водохранилище, донные отложения, гидрохимический режим, качество воды, мониторинг, антропогенная нагрузка, вторичное загрязнение, водная экосистема, р. Волга.

На основании многолетних данных рассмотрены условия формирования, распределения и накопления донных осадков и химических поллютантов в Иваньковском водохранилище и их



В.В. Законнов



И.Л. Григорьева



А.В. Законнова

влияние на качество воды. По результатам мониторинга установлено, что современные донные отложения представлены крупнозернистыми наносами – 47 %, тонкодисперсными отложениями – 38 % и почвами – 15 %. При трансформации балансовых статей взвешенных наносов осадконакопление уменьшилось в два раза, что привело к увеличению количества взвесей, насыщенных загрязняющими веществами. Существенные изменения произошли с отложениями из макрофитов, их доля увеличилась с 16,7 до 26–28 %, заболочиваемые почвы в литоральной зоне составили 14 % площади водохранилища. Сокращение интенсивности осадкообразования и изменение площади акватории привели к уменьшению скорости аккумуляции биогенных элементов в два раза.

При наличии обширных мелководий, составляющих около 53 % площади водохранилища, происходит взмучивание и трансседиментация наносов, приво-

\* Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0122-2014-0009)

дящие к вторичному загрязнению воды биогенными и токсичными элементами. В результате этого качество воды носит флуктуирующий характер. Особенно четко это проявляется в период половодья, когда при наполнении водохранилища до проектного уровня и интенсивном гидродинамическом прессинге наблюдается максимальное поступление загрязняющих веществ природного и антропогенного происхождения с селитебных территорий, с атмосферными осадками, грунтовым и речным стоком.

Результаты гидрохимических съемок 2012 г. и последующих лет подтвердили незначительные изменения физико-химических показателей элементов экосистемы Ивановского водохранилища. С момента его создания перманганатная окисляемость, железо общее, марганец, минерализация воды и содержание главных ионов остаются стабильными и зависят от гидрометеорологических условий года. Отмечается межгодовая и сезонная динамика концентраций наблюдаемых ингредиентов. Несмотря на пространственно-временные изменения, донные отложения являются наиболее консервативными компонентами природной среды.

*Памяти И.В. Ланцовой посвящается*

Донные отложения (ДО), являясь накопителями природных и антропогенных загрязняющих веществ (ЗВ) аллохтонного и автохтонного происхождения, отражают состояние поверхностных и грунтовых вод и служат надежным индикатором их качества. Изучение качества воды через донные отложения задача не новая, но весьма актуальная для водоемов питьевого назначения, каким является Ивановское водохранилище, т. к. оно служит одним из основных источников водоснабжения Москвы и Московской области.

Цель исследования – выявить взаимосвязи тенденций изменения пространственно-временной структуры и свойств грунтов дна с гидрохимическими характеристиками экосистемы водохранилища.

Водоохранилища представляют первичный элемент грубой очистки природных, промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод за счет разбавления в больших объемах воды, поступивших с относительно чистых площадей водосборного бассейна, и внутриводоемных процессов. Грубая очистка осуществляется вследствие отстоя в водохранилищных емкостях, как реакторах со слабыми, по сравнению с реками, гидрологическими процессами. Являясь ловушками наносов, водохранилища выводят из круговорота веществ многие ингредиенты, сорбированные на тонкодисперсных частицах природного происхождения – глинах, торфянистых и макрофитных отложениях.

Накопление поллютантов в донных отложениях не следует рассматривать как способ их захоронения. Поскольку в них происходят аэробные и анаэробные процессы трансформации депонированных ингредиентов, при определенных условиях (изменение термического режима, графика работы

гидроузлов, стоковых и ветровых течений, уровня наполнения и сработки и пр.) может произойти вторичное загрязнение водоема и, соответственно, снижение качества его воды. Ивановское водохранилище является сезонным природным отстойником, доводящим качество воды до состояния, удовлетворяющего требованиям потребителей.

### МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье представлены результаты анализа многолетнего ряда наблюдений за состоянием нижнего (дно) и верхнего (вода) ярусов экосистемы Ивановского водохранилища. Материалы и методика исследований по донным осадкам приведены в сообщении 1 [1]. Аномальные концентрации, локализация, распределение соединений тяжелых металлов (ТМ) и нормирование микроэлементов по фоновому индикаторному элементу (ИЭ) определяли по данным 1991 г., результаты представлены в сообщении [2]. Гидрохимическая характеристика и изменение качества воды Ивановского водохранилища по отдельным показателям за многолетний период даны в работах [3–5].

### Формирование, распределение, накопление и качественный состав донных отложений

Материалы мониторинга ложа наглядно указывают на стадийность преобразования нижнего яруса экосистемы – от интенсивного формирования и распределения донных осадков к их стабилизации во времени и пространстве после 30 лет функционирования водохранилища (табл. 1). Основной характер распределения и накопления осадков закладывается в первые годы эксплуатации водохранилища с закономерностью, свойственной всем равнинным водоемам: сокращением площадей, затопленных и размывтых почв, образованием трансформированных грунтов и отчуждением сушией части акватории, когда на месте сросшихся с дном сплавин формируются болотно-луговые ландшафты; ростом площадей крупнозернистых (песчаных) наносов и тонкодисперсных отложений (глинистых илов), а затем их небольшой флуктуацией в зависимости от гидрометеорологических особенностей периода, предшествующего грунтовой съемке.

**Таблица 1.** Трансформация площади грунтового комплекса Ивановского водохранилища (по году гидрологической съемки), %

Тип грунта, ДО	Год							
	1937	1947	1957	1968	1976	1991	2012	2037*
Трансформированные грунты	99**	54	41	7	9	11	15	15
Крупнозернистые наносы	0,9	8	10	30	32	48	47	46
Тонкодисперсные отложения	0,1	38	49	63	59	41	38	39

Примечание: \* – прогноз [1]; \*\* – почвы.

Аналогичная картина наблюдается и по типам осадкообразования (табл. 2). Характер трансформации балансовых статей находится в соответствии с распределением (рис. 1, 2) и накоплением вторичных осадков, где доля абразионных процессов постепенно уменьшается, а сток речных наносов, соответственно, увеличивается. Продукция гидробионтов практически неизменна. В расходной части баланса осадконакопление уменьшается, что приводит к увеличению сбросов взвесей, насыщенных загрязняющими веществами (особенно в период половодья) в Угличское водохранилище (табл. 3). Данная устойчивая тенденция, характерная для равнинных водохранилищ, позволяет спрогнозировать пространственно-временную изменчивость седиментационных процессов с малой вероятностной ошибкой на ближайшие десятилетия [1].

**Таблица 2.** Интенсивность осадкообразования, мм · год<sup>-1</sup>

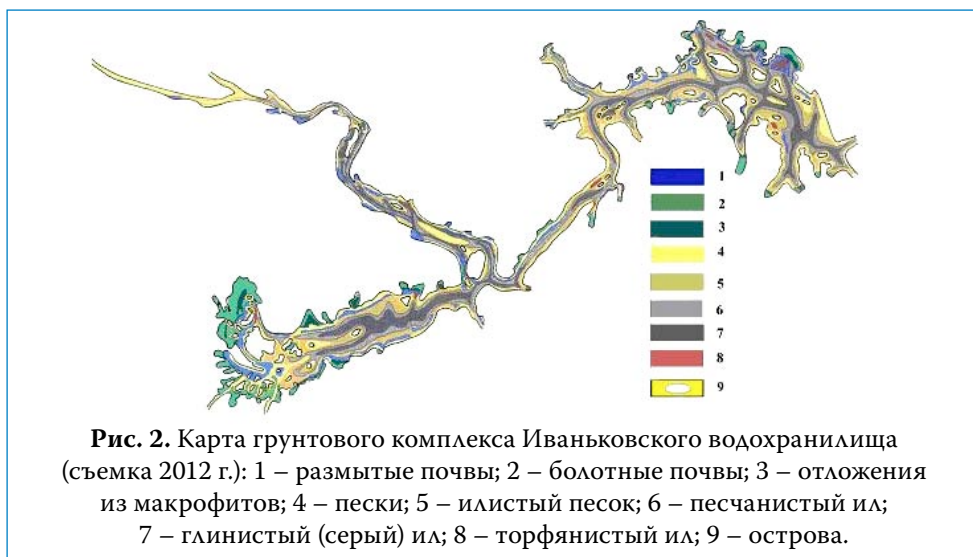
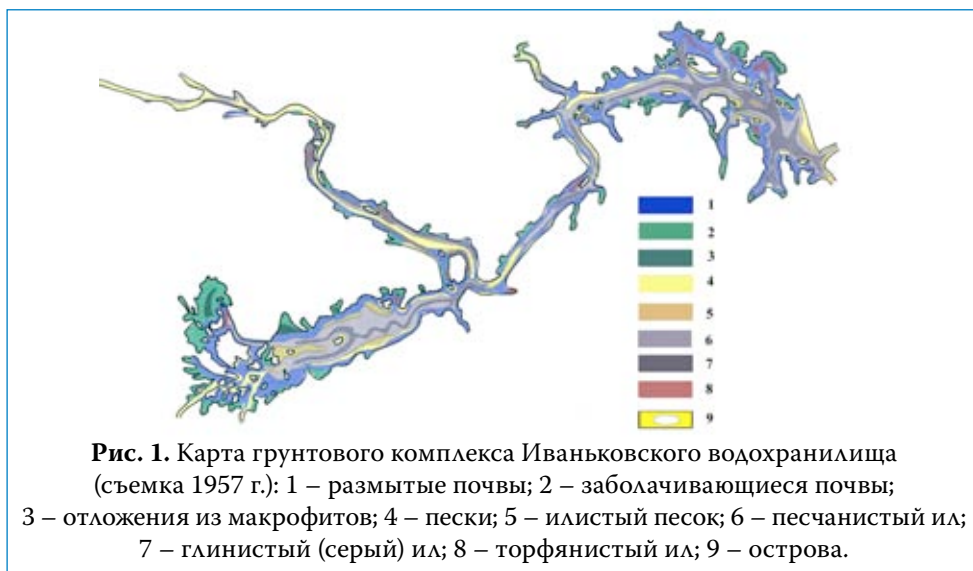
Тип осадкообразования	Год						
	1947*	1957*	1968*	1976*	1991*	2012**	2037**
Занесение	4,2	1,8	2,0	2,3	1,9	1,7	1,6
Осадконакопление	5,5	3,0	2,7	2,3	2,1	1,9	1,8
Илонакопление	6,6	3,2	2,7	2,7	3,3	3,0	2,3

Примечание: \* - площадь водохранилища 327 км<sup>2</sup>; \*\* - площадь водохранилища 287 км<sup>2</sup>.

**Таблица 3.** Трансформация балансовых характеристик взвешенных наносов, %

Период, год	Приход			Расход	
	Абразионная деятельность	Сток речных наносов	Продукция гидробионтов	Осадконакопление	Сброс через гидросооружение
1937–1968 [6]	66	29	5	71	29
1969–1990 [7]	63	30	7	70	30
1991–2012	60	34	6	65	35
2013–2037	58	36	6	63	37

Грунтовая съемка 2012 г. и последующие эпизодические экспедиции показали, что в процессе функционирования экосистемы наблюдаются не только стохастические, но и однонаправленные изменения. В первую очередь, это касается макрофитов, которые наряду со сменой полидоминантной растительности на преобладающий тип и наоборот, формируют аквальные прибрежные комплексы сильного, умеренного и слабого зарастания. По оценке В.А. Экзерцева и др. [8], доля покрытия мелководий высшей водной растительностью увеличилась с 16,7 (1957 г.) до 23,4 % (1972–1974 гг.).



В 1980 г. она достигла 26–28 % и продолжает удерживаться близкой к этой величине по отдельным заливам [9]. С самого начала процесс идет в сторону образования сплавин, которые, закрепляясь на дне и зарастая ивняком, образуют болотные ландшафты. По данным Л.К. Тихомировой, в 1973 г. отторжение сплавинами части акватории составило 18 км<sup>2</sup> [10], а по оценкам авторов данного исследования в 2012 г. переход сплавин в заболоченные почвы измерялся 40 км<sup>2</sup> или 14 % площади водохранилища (табл. 4).

Несмотря на различные площади распределения и мощности осажженной толщи, объем и масса осадков постепенно уменьшаются с глубиной водоема (табл. 5). Однако по интервалам глубин максимальная скорость седиментации ( $\text{кг}/\text{м}^2$ ) наблюдается в мелководной зоне (0–3 м) за счет вдольберегового переноса песчаных отложений, имеющих высокую объемную массу и минимальную толщину слоя вторичного песка, и на прирусловом склоне (6–9 м), сложенном пластичным глинистым илом, свободно сползающим под действием сил гравитации и уклонов до  $30^\circ$  в виде подводных оползней к профундальной ложбине водоема. Сублиторальная (3–6 м) и профундальная (> 9 м) часть ложа сложены, соответственно, промежуточными типами донных отложений – илистым песком, песчаным илом и рыхлым глинистым илом, поэтому темпы седиментации в них близки.

**Таблица 4.** Интенсивность осадкообразования за период 1937–2012 гг.

Тип грунта, донных отложений	Площадь		Средняя толщина, см	Объем, млн $\text{м}^3$	Вес, млн т	Скорость седиментации, $\text{год}^{-1}$		
	$\text{км}^2$	%				мм	тыс. т	$\text{кг}/\text{м}^2$
Почвы заболоченные	39,7	13,8	–	–	–	–	–	–
Почвы размытые	2,3	0,8	–	–	–	–	–	–
Галька	1,5	0,5	–	–	–	–	–	–
Песок	78,9	27,5	7,5	5,9	10,6	1,0	141,3	1,8
Илистый песок	55,0	19,2	9,0	5,0	8,0	1,2	106,7	1,9
Песчаный ил	31,5	11,0	16,5	5,2	3,6	2,2	48,0	1,5
Серый глинистый ил	52,1	18,2	28,6	14,9	7,5	3,8	100,0	1,9
Торфянистый ил	12,0	4,2	12,8	1,5	0,5	1,7	6,7	0,6
Отложения из макрофитов	14,0	4,8	21,8	3,1	0,6	2,9	8,0	0,6
Тип осадкообразования								
Занесение	287,0	100,0	12,4	35,6	30,8	1,7	410,7	1,4
Осадконакопление	243,5	84,8	14,6	35,6	30,8	1,9	410,7	1,7
Илонакопление	109,6	38,2	22,5	24,7	17,9	3,0	162,7	1,5

**Таблица 5.** Интенсивность осадконакопления по интервалам глубин к 2012 г.

Интервалы глубин, м	Площадь		Средняя толщина, см	Объем, млн $\text{м}^3$	Вес, млн т	Скорость седиментации, $\text{год}^{-1}$		
	$\text{км}^2$	%				мм	тыс. т	$\text{кг}/\text{м}^2$
0–3	151,2	52,7	8,3	12,5	18,5	1,1	247,0	1,6
3–6	81,7	28,5	14,3	11,7	7,0	1,9	93,0	1,1
6–9	34,7	12,1	22,5	7,8	3,9	3,0	52,0	1,5
>9	19,4	6,7	18,6	3,6	1,4	2,5	19,0	1,0



Данные табл. 4 и 5 в совокупности с материалами по среднему содержанию биогенных элементов и других поллютантов могут быть исходными для определения современных количественных показателей и выявления корреляционных связей между абиотическими и биотическими параметрами водной среды. Эти данные могут быть использованы также при решении комплексных задач, связанных с функционированием экосистемы, и выявлении потоков вещества и энергии в природных и техногенных водоемах.

В мелководной зоне поступающие с водосборной площади поллютанты оказываются в активной гидродинамической зоне и переносятся в основную акваторию, где выпадают в осадок в зависимости от силы и направленности стоковых и ветровых течений. Водные растения выступают буфером по их перехвату, содержат максимум концентраций по сравнению с поверхностным стоком и основной акваторией. Максимальная концентрация химических элементов приводит к гибели растений, увеличивая площади макрофитных отложений и сплавин [11]. Поглощение растениями биогенных элементов, загрязняющих веществ в сочетании с сорбцией на взвешьях, последующей седиментацией и микробиальной деструкцией способствуют выводу их из круговорота веществ или его замедлению в системе вода – донные отложения – биота [12]. Сокращение интенсивности осадкообразования при неизменных концентрациях биогенных элементов в донных отложениях и изменившейся площади акватории Иваньковского водохранилища привели к уменьшению скорости их аккумуляции почти в два раза (табл. 6).

**Таблица 6.** Аккумуляция биогенных элементов в донных отложениях

Период, год	Площадь водохранилища, км <sup>2</sup>	Вес отложений, млн т	Аккумуляция за период, тыс. т			Скорость аккумуляции, г/м <sup>2</sup> · год		
			C <sub>орг</sub>	N <sub>общ</sub>	P <sub>общ</sub>	C <sub>орг</sub>	N <sub>общ</sub>	P <sub>общ</sub>
1937–1977 [13]	327	21,5	416	43	15	32	3,4	1,2
1977–2012	287	9,3	177	19	7	18	1,9	0,7

Впервые составленные для Иваньковского водохранилища балансы биогенных элементов за многолетний период свидетельствуют, что основным источником их поступления является речной сток, дающий 61 % прихода C<sub>орг</sub> и 68 % общего азота и общего фосфора [13]. С абразией берегов и дна поступает 1,5, 6,0 и 17,0 % соответственно. Суммарный вклад фитопланктона и высшей водной растительности в пересчете на C<sub>орг</sub> – 36 %, сточные воды – от 0,5 до 16,0 %. Другие источники – атмосферные осадки, выделение из отложений, бактериальная ассимиляция CO<sub>2</sub> и азотфиксация составляют 0,5–7,0 %. Значительная масса этих элементов сбрасывается через гидроузлы: C<sub>орг</sub> – 64 %, N<sub>общ</sub> – 92 %, P<sub>общ</sub> – 67 %. Деструкция в воде составляет 28 %, в донных отложениях – 4 %. Высокий водообмен

(8–13,6 год<sup>-1</sup>), обуславливающий сброс большей части органического вещества, и высокие скорости деструкции определяют низкий темп аккумуляции биогенных элементов – 4 % C<sub>орг</sub>, 8 % N<sub>общ</sub> и 33 % P<sub>общ</sub>.

Средние концентрации тяжелых металлов в донных осадках приведены в работе [2], в современный период они практически не отличаются. Установлены достоверные корреляционные зависимости валовых концентраций тяжелых металлов и лития, что свидетельствует о их природном происхождении в большинстве случаев. Наиболее высокие концентрации отмечены для цинка и меди, для других металлов они близки к фоновым.



По данным кластерного анализа физико-химических характеристик грунтов 130 станций выделены четыре класса (рис. 3). Наиболее высокие концентрации тяжелых металлов – 1 класс станций, расположенных ниже по течению от Мошковичского залива в районе д. Корчева, 2 класс включает станции в затопленном русле Волги и выходах из заливов, где накоплены илистые отложения, 3 и 4 классы объединяют станции с минимальными концентрациями тяжелых металлов, их местоположение приурочено к районам с высокой динамической активностью водных масс.

### Трансформация химического состава воды

Формирование качества воды р. Волги и Иваньковского водохранилища происходит под воздействием как природных, так и антропогенных факторов. Из природных факторов – это, прежде всего, значительная увлажненность территории водосбора (до 925 мм осадков в год), преобладание



дерново-подзолистых (разной степени оподзоливания), подзолистых и по понижениям – дерново-глеевых и болотных типов почв. Их толща повсеместно хорошо отмыта от легкорастворимых солей сульфатов и хлоридов. Поэтому в регионе формируются гидрокарбонатные воды преимущественно малой и средней минерализации. Торфяно-болотные почвы, обладая повышенной кислотностью, уменьшают минерализацию поверхностных вод и обогащают ее органическими и биогенными веществами.

Антропогенными источниками загрязнения вод Ивановского водохранилища являются:

- недостаточно очищенные по причине неэффективной работы очистных сооружений сточные воды промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных предприятий населенных пунктов, расположенных по его берегам, самым крупным из которых является г. Тверь с населением более 400 тыс. чел.;
- подогретые воды, отводимые Конаковской ГРЭС в Мошковичский залив;
- неорганические и органические удобрения, вносимые на сельскохозяйственные поля и дачные участки;
- рекреация;
- маломерный флот;
- интенсивная застройка водоохраных зон, которые в последние десятилетия практически утратили свою водоохранную функцию, и другие причины.

Максимальную долю поступающих в водохранилище загрязняющих веществ составляют сульфаты и хлориды. Со сточными водами в водоем поступают также взвешенные наносы, легкоокисляющиеся органические вещества по БПК<sub>полн</sub> и БПК<sub>5</sub>, органический и минеральный фосфор, аммонийный и нитратный азот, нефтепродукты, СПАВ, медь, цинк, никель, хром.

Минерализация воды во входном створе водохранилища (с. Городня) изменилась в последние пять лет от 141 мг/дм<sup>3</sup> в весенний период до 272 мг/дм<sup>3</sup> в зимний период, а летом в среднем была около 221 мг/дм<sup>3</sup>. В замыкающем створе (верхний бьеф Ивановской ГЭС, г. Дубна) ее значения варьировали от 132 весной до 281 мг/дм<sup>3</sup> зимой, в летний период в среднем составляли 215 мг/дм<sup>3</sup>. Наиболее минерализована вода в водохранилище во все периоды года в Шошинском плесе. В зимний период минерализация воды здесь может достигать 487 мг/дм<sup>3</sup>, весной – 273, летом – 277, осенью – 341 мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрации сульфатов в створе Городня в последние пять лет зимой изменялись от 13,7 до 21,3 мг/дм<sup>3</sup>, весной – от 10,2 до 16,5 мг/дм<sup>3</sup>, летом – от 6,9 до 15,3 мг/дм<sup>3</sup>. В створе Безбородово (Шошинский плес) – от 11,1 до 19,0 мг/дм<sup>3</sup>; в верхнем бьефе Ивановской ГЭС – от 2,4 до 39,3 мг/дм<sup>3</sup>.

Диапазон изменения концентраций хлоридов в водохранилище составляет 1,3–13,6 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальное значение зафиксировано в Шошинском плесе зимой. В остальных створах концентрации хлоридов не выше 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Кислородный режим водохранилища в период открытой воды в основном благоприятный. При интенсивном цветении фитопланктона в поверхностных горизонтах отмечается перенасыщение воды кислородом. Дефицит кислорода даже в поверхностных горизонтах в летний период отмечается, как правило, в аномально жаркие периоды, как это было в июле-августе 2010 г. В придонных горизонтах дефицит кислорода наблюдается регулярно в конце июля-начале августа. Зимой в большинстве створов содержание растворенного в воде кислорода в поверхностном горизонте составляет 40–50 % и может падать до нулевых значений в придонных горизонтах.

Для водохранилища характерно высокое содержание окрашенного органического вещества гумусовой природы, что определяется природными свойствами водосбора, в частности, высокой степенью заболоченности территории и наличием сплавин. Межгодовые и сезонные колебания цветности в значительной степени зависят от водности года. Цветность воды в последние пять лет в зимний период в большинстве створов колебалась в интервале 20–65 град. цветности, весной изменялась от 40 до 100 град. цветности, летом – от 30 до 75, осенью – от 20 до 50 град. цветности Рт-Со шкалы. Довольно высокие значения цветности в отдельные годы обусловлены накоплением высоко цветных вод весеннего половодья в многочисленных заливах.

Наибольшие концентрации органического вещества, измеренные в единицах перманганатной окисляемости (ПО), характерны для весеннего периода, причем на верхних участках водохранилища его концентрация в основном определяется аллохтонной органикой и хорошо коррелирует с показателем цветности вод, а в нижних участках Ивановского плеса усиливается роль автохтонной органики. В период с 2013 по 2017 гг. значения ПО варьировали в воде водохранилища в зимний период в пределах 6,6–18,5 мгО/дм<sup>3</sup>, в весенний 10–20,9, в летнюю межень 7,7–17,1, осенью 5,8–12,4 мгО/дм<sup>3</sup>.

Легкоокисляемые органические соединения представлены низкомолекулярными ациклическими органическими кислотами, углеводами, аминокислотами, пептидами, спиртами и т. д. [4]. Наиболее высокие значения БПК<sub>5</sub> отмечаются в летний период и составляют 1,5–6,5 мгО/дм<sup>3</sup>, в осенний – значения БПК<sub>5</sub>, как правило, ниже ПДК для рыбохозяйственных водоемов (2,0 мгО/дм<sup>3</sup>), что является свидетельством достаточной самоочищающей способности легкоокисляемой органики в водохранилище.

Высокие концентрации нитратов (до 0,93 мг/дм<sup>3</sup>) наблюдаются в период наибольшей сработки уровня (февраль-март), когда в водохранилище по-

ступает значительное количество обогащенных этими соединениями подземных вод, а потребление этой формы азота экосистемой минимально. В летне-осенний сезон потребление нитратов происходит особенно интенсивно, что резко снижает их концентрацию в воде. В большинстве створов наблюдений в зимний период концентрации аммонийного иона выше, чем в другие периоды года, и превышают концентрации нитратов. Максимально наблюдаемая концентрация аммонийного иона –  $1,63 \text{ мг/дм}^3$  – зафиксирована зимой 2013 г. в створе Городня.

Содержание фосфат-ионов и общего фосфора также меняется по сезонам: максимальные концентрации наблюдаются в зимний и осенний периоды и не превышают  $0,054$  и  $0,112 \text{ мг/дм}^3$  соответственно. В летний период фосфат-ион активно потребляется с высокой степенью оборота.

Концентрация общего железа в воде обычно превышает ПДК<sub>рх</sub> ( $0,1 \text{ мг/дм}^3$ ) во все сезоны года, достигая максимальных значений в Шошинском плесе (до 8 ПДК). Высокие концентрации во все сезоны характерны и для марганца. Наиболее высокие концентрации в последние годы наблюдались в Шошинском плесе, где они достигали 27 ПДК<sub>рх</sub>.

Концентрации нефтепродуктов в воде водохранилища в зимний, весенний и осенний периоды выявляются, в основном, ниже ПДК практически во всех створах наблюдений. В летний период в отдельных точках наблюдений – Городня, о. Низовка, Безбородово, заливы Федеровский, Домкинский и Мошковический – отмечены превышения концентраций нефтепродуктов в 2–4 ПДК, что связано с увеличением рекреационной нагрузки и использованием маломерного флота [14].

Максимальные концентрации цинка (до 7 ПДК), свинца (до 3 ПДК), меди (до 26 ПДК) в замыкающем створе водохранилища отмечены летом, а в створе Безбородово – зимой: цинка (до 11 ПДК), свинца (до 3 ПДК), меди (до 6 ПДК).

Исследования показали, что химический состав воды, отводимой от Конаковской ГРЭС, близок к значениям в фоновом створе. В августе 2017 г. в отводящем канале отмечены в два раза более высокие, чем в контрольном створе концентрации меди и хрома. Наиболее высокие концентрации ряда биогенных элементов и тяжелых металлов зафиксированы в районе очистных сооружений водоканала г. Конаково. Температура воды в районе сброса теплых вод в канал в августе 2017 г. превышала температуру в фоновом створе на  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , а в сентябре 2017 г. – на  $9 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Поступление теплых вод от Конаковской ГРЭС в водоем, прежде всего, влияет на развитие гидробионтов и высшей водной растительности. Для водоемов с высокими температурами характерно появление и расселение адвентивных видов высшей водной растительности. В Мошковическом

заливе водохранилища отмечены такие южные виды, как водяной орех (чилима) *Trapa natans* L. и наяда морская *Najas marina* L.

Качество воды в Ивановском водохранилище в последние годы соответствует классу «загрязненная» или «очень загрязненная», а на некоторых участках акватории в районах городов Тверь и Конаково, в устье Шошинского плеса, в устье некоторых малых притоков – «грязная».

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качество воды определяется условиями функционирования водных экосистем [15]. Оно зависит не только от природной (фоновой) и антропогенной нагрузки, но и вторичного загрязнения. При сложившейся гидроклиматической обстановке в бассейне Ивановского водохранилища, режиме его эксплуатации, внутриводоемных процессах, распределении донных отложений и накоплении в них биогенных элементов и других поллютантов опасность вторичного загрязнения имеет место, но она чрезвычайно мала и определяется следующими факторами:

- Сезонным регулированием уровня, сохраняющим стабильность в течение всего времени существования Ивановского водохранилища (НПУ = 124,0 м в навигационный период при среднем многолетнем 123,3 м БС), устойчивым режимом стоковых и ветровых течений и коэффициентом водообмена 8–9 год<sup>-1</sup>.

- Потеплением регионального климата (повышение температуры воздуха, увеличение продолжительности вегетационного периода), приводящим к усилению самоочищения водохранилища и биохимических микробиальных процессов выделения загрязняющих веществ из донных осадков в воду.

- Благоприятным для водоема кислородным режимом (5,8–20,9 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>).

- Спадом промышленного и сельскохозяйственного производства.

- Стабильным пространственным распределением основных типов донных осадков, когда наиболее загрязненные илистые отложения накапливаются, как правило, на глубинах > 9 м, куда не распространяется размывающее действие волн и тепловое загрязнение Конаковской ГРЭС.

- Низким уровнем содержания органического вещества, биогенных элементов и тяжелых металлов в донных осадках.

- Наличием водоохраных зон, которые наряду с воздушной и водной растительностью, служат хорошим фильтром для уменьшения концентраций загрязняющих веществ, попадающих в водохранилище с территории бассейна.

В настоящее время экосистема Ивановского водохранилища способна к самоочищению и восстановлению и вполне справляется с антропогенными нагрузками. Сохранение ее состояния на современном уровне не требует дополнительных финансовых затрат. Однако опасность вторичного загрязнения для гидробионтов все же существует и его последствия в экст-

ремальных случаях не предсказуемы. Что касается питьевого водоснабжения, то она легко устраняется при соответствующей водоподготовке.

Нарушение сложившихся природной и антропогенной ситуаций приведет к обострению или изменению внутриводоемных биотических и абиотических процессов. Сохранение достигнутого равновесия – непереносимое условие экологического благополучия и комплексного использования Иваньковского водохранилища. С практической точки зрения целесообразно сосредоточить усилия водохозяйственных и научно-исследовательских учреждений на подготовке реестров водоемов и водотоков с указанием их параметров – гидрофизических и биохимических характеристик в соответствии с ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Законнов В.В., Комов В.Т., Законнова А.В.* Донные отложения и их изменения в связи с повышением уровня Чебоксарского водохранилища. Сообщение 5 // Водное хозяйство России. 2015. № 3. С. 4–19.
2. *Ганеева М.В., Законнов В.В., Ганеев А.А.* Локализация и распределение тяжелых металлов в донных отложениях водохранилищ Верхней Волги // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 2. С.174–180.
3. *Григорьева И.Л.* Современное состояние качества воды Иваньковского водохранилища // Эколого-гидрологические проблемы изучения и использования водных ресурсов. Казань, 2006. С. 124–127.
4. *Дебольский В.К., Кочарян А.Г., Григорьева И.Л., Лебедева И.П., Толкачев Г.Ю.* Проблемы формирования качества воды в поверхностных источниках водоснабжения и пути их решения на примере Иваньковского водохранилища // Вода: химия и экология. 2009. № 7. С. 2–11.
5. *Григорьева И.Л.* Трансформация химического состава воды Иваньковского водохранилища за многолетний период под влиянием природных и антропогенных факторов // Материалы Всеросс. научно-практ. конф. «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата»: VI Дружининские чтения. Хабаровск, 28–30 сентября. 2016. С. 36–39.
6. *Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Курдин В.П.* Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 160 с.
7. *Законнов В.В., Законнова А.В.* Балансы взвешенных веществ водохранилищ Волги и их трансформация // Инженерная геология, гидрогеология и геодинамика прибрежных территорий и ложа водохранилищ. Межд. научно-практ. конф. 9–11 сентября. 2008. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2008. С. 93–99.
8. *Экзерцев В.А., Лисицына Л.И., Довбня И.В.* Сукцессии гидрофильной растительности в литорали Иваньковского водохранилища // Тр. ИБВВ РАН. Вып. 59 (62). С. 120–132.
9. *Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н., Бреховских В.Ф.* Зарастающие водотоки и водоемы: Динамические процессы формирования донных отложений. М.: Наука, 2004. 310 с.

10. Тихомирова Л.К. Роль макрофитной растительности в формировании аквальных комплексов мелководий Иваньковского водохранилища: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Пермь, 1985. 16 с.
11. Микрякова Т.Ф. Накопление тяжелых металлов макрофитами в условиях различного уровня загрязнения водной среды // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 2. С. 253–255.
12. Кузнецов С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. Л.: Наука, 1970. 518 с.
13. Зиминова Н.А., Законнов В.В. Балансы биогенных элементов в Иваньковском водохранилище // Экологические исследования водоемов Волго-Балтийской и Северо-Двинской водных систем. Л.: Наука, 1982. С. 239–258.
14. Ланцова И.В., Григорьева И.А., Тихомиров О.А. Геоэкологические проблемы рекреационного использования Иваньковского водохранилища // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 1. С. 115–122.
15. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии. Киев: Генеза, 2004. 664 с.

#### **Сведения об авторах:**

Законнов Виктор Васильевич, д-р геогр. наук, главный научный сотрудник, ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук», Россия, 152742, Ярославская область, Некоузский р-н, пос. Борок; e-mail: zak@ibiw.yaroslavl.ru

Григорьева Ирина Леонидовна, канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, филиал Института водных проблем Российской академии наук. Иваньковская научно-исследовательская станция, Россия, 171251, Тверская область, г. Конаково, ул. Белавинская, д. 61-А; e-mail: irina\_grigorieva@list.ru

Законнова Арина Васильевна, старший научный сотрудник, ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук», Россия, 152742, Ярославская область, Некоузский р-н, пос. Борок; e-mail: zak@ibiw.yaroslavl.ru