

ISSN 1999-4508

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНОЛОГИИ
УПРАВЛЕНИЕ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
№ 3, 2018



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
(ФГБУ РосНИИВХ)

Главный редактор

Прохорова Н.Б. (Екатеринбург, Россия)

Члены редколлегии

Болгов М.В. (Москва, Россия)

Борисова Г.Г. (Екатеринбург, Россия)

Бурлибаев М.Ж. (Алматы, Республика Казахстан)

Габриелян Б.К. (Ереван, Республика Армения)

Гареев А.М. (Уфа, Россия)

Духовный В.А. (Ташкент, Республика Узбекистан)

Заслоновский В.Н. (Чита, Россия)

Козлов Д.В. (Москва, Россия)

Косолапов А.Е. (Ростов-на-Дону, Россия)

Лепихин А.П. (Пермь, Россия)

Никифоров А.Ф. (Екатеринбург, Россия)

Попов А.Н. (Екатеринбург, Россия)

Румянцев В.А. (Санкт-Петербург, Россия)

Селезнёв В.А. (Тольятти, Россия)

Хафизов А.Р. (Уфа, Россия)

Шевчук А.В. (Москва, Россия)

Ясинский С.В. (Москва, Россия)

Исполнительный редактор

Алек Н.А. (Екатеринбург, Россия)

Регистрировано в Государственном комитете
по печати 21 мая 1999 г. Рег. номер 018825

Выходит с 1999 года 6 раз в год.
Выпущено к печати в издательстве РосНИИВХ
по лицензии ЛР № 020570 от 30 сентября 1997 г.)

Адрес редакции:

620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23
26-79. Факс (343) 374-26-79, 374-82-42
fo@waterjournal.ru, www.waterjournal.ru

© ФГБУ РосНИИВХ

Принимает к публикации научные журналы и издания,
в которых опубликованы основные научные результаты
исследований кандидатов и докторов наук

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

ПРОБЛЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3, 2018
ЕКАТЕРИНБУРГ

СОДЕРЖАНИЕ

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

| | |
|---|----|
| Гидрохимия рек природного заказника «Тумнинский» <i>В.П. Шестеркин</i> | 4 |
| Особенности гидрохимического режима северо-восточной части Васюганского болота в междуречье рек Бакчар и Икса (Западная Сибирь) <i>Е.С. Воистинова, Ю.А. Харанжевская, А.А. Синюткина</i> | 16 |



| | |
|---|----|
| Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 5. Донные отложения и качество воды Иваньковского водохранилища <i>В.В. Законнов, И.А. Григорьева, А.В. Законнова</i> | 35 |
|---|----|

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

| | |
|---|----|
| К вопросу об апробации «Пособия по выбору приоритетных действий, направленных на экологическую реабилитацию водоемов» Сообщение 1. Выбор методов реабилитации малопроточных водоемов (на примере озера Иртяш) <i>А.Н. Попов, Т.Е. Павлюк, В.Ф. Мухутдинов, Е.В. Загайнова, А.С. Польшгалов, В.В. Иманова, О.А. Милицына, Е.А. Бутакова</i> | 50 |
| Программа мероприятий по снижению негативного воздействия вод реки Лены: методический подход и этапы реализации <i>В.Ф. Резников, И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева, К.В. Марусин</i> | 74 |
| Классификационные признаки городских водоемов <i>Ю.В. Алексанян</i> | 87 |

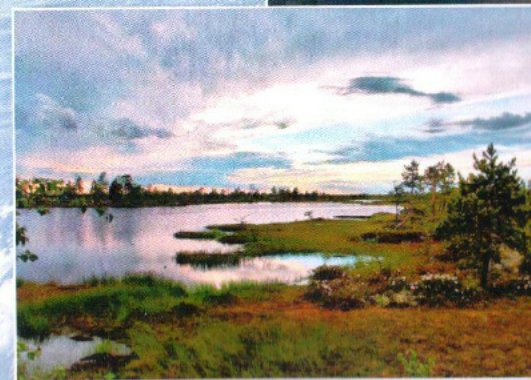
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

| | |
|---|-----|
| Состав донных отложений приливо-отливной акватории (юго-западный район Татарского пролива) <i>А.А. Гаретова, Н.К. Фишер, С.И. Левшина</i> | 102 |
|---|-----|

ИНФОРМАЦИЯ. ХРОНИКА. РЕЦЕНЗИИ

| | |
|------------------------------------|-----|
| Водной службе Якутии – 50 лет..... | 118 |
| ABSTRACTS..... | 133 |

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ



венных и мелнированных верховых болот // Вестник СПбГУ. 2006. Сер. 7. Вып. 2. С. 85–95.

Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1953. 295 с.

Никаноров А.М. Гидрохимия. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 444 с.

Кремлева Т.А. Геохимические факторы устойчивости водных систем к антропогенным нагрузкам: автореф. дисс. ... д-ра хим. наук. Москва, 2015. 260 с.

Природные режимы средней тайги Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. 304 с.

Сведения об авторах:

Воистинова Елена Сергеевна, научный сотрудник, Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН; Россия, 634050, г. Томск, Гагарина, 3; e-mail: elenavoistinova@yandex.ru

Харанжевская Юлия Александровна, канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник, Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН; доцент, кафедра геологии, Национальный исследовательский Томский государственный университет; Россия, 634050, г. Томск, Гагарина, 3; e-mail: kharan@yandex.ru

Анкалаева Анна Алексеевна, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН; Россия, 634050, г. Томск, Гагарина, 3; e-mail: ankalaeva@yandex.ru

УДК 624.131:556.555.6

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГРУНТОВОГО КОМПЛЕКСА ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛГИ*

СООБЩЕНИЕ 5. ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ И КАЧЕСТВО ВОДЫ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2018 г. В.В. Законнов¹, И.А. Григорьева², А.В. Законнова¹

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

² 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.А. 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 Иваньковского 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 Иваньковское 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.

Водохранилища представляют первичный элемент грубой очистки природных, промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод за счет разбавления в больших объемах воды, поступивших с относительно больших площадей водосборного бассейна, и внутриводоемных процессов. Грубая очистка осуществляется вследствие отстоя в водохранилищных конструкциях, 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 крофитных 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. Иваньковское 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 Иваньковского 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 Иваньковского водохранилища по отдельным показателям за многолетний период даны в работах [3–5].

Формирование, распределение, накопление и качественный состав донных отложений

Материалы мониторинга ясно 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 размытых почв, образованием трансформированных грунтов и отчуждением суши части акватории, когда на месте сросшихся с дном сплавины 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 Иваньковского 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⁻¹

| 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 км²; ** - площадь водохранилища 287 км².

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.).

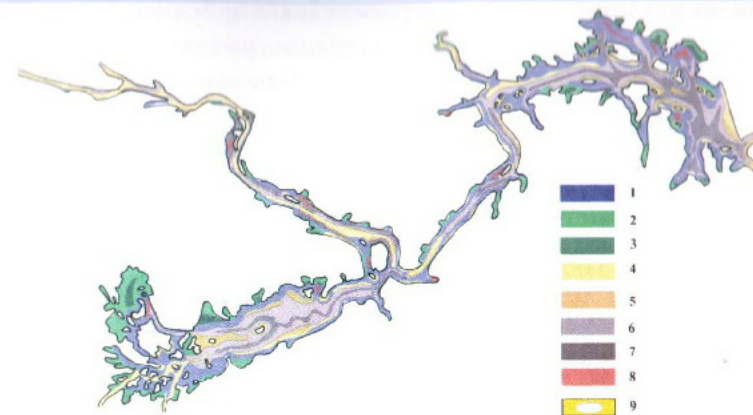


Рис. 1. Карта грунтового комплекса Иваньковского водохранилища (съемка 1957 г.): 1 – размытые почвы; 2 – заболочивающиеся почвы; 3 – отложения из макрофитов; 4 – пески; 5 – илистый песок; 6 – песчаный ил; 7 – глинистый (серый) ил; 8 – торфянистый ил; 9 – острова.

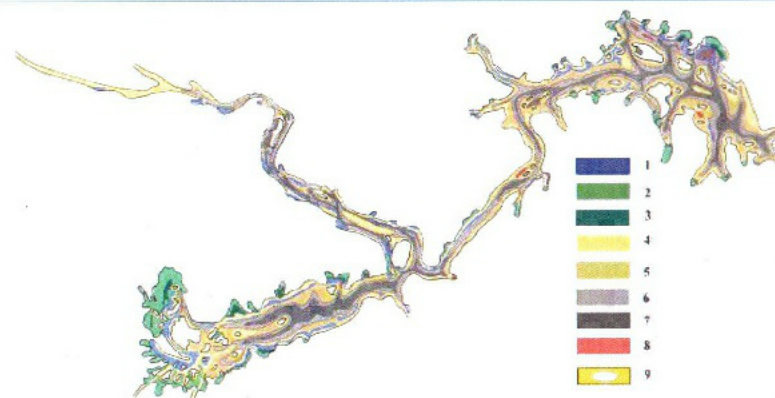


Рис. 2. Карта грунтового комплекса Иваньковского водохранилища (съемка 2012 г.): 1 – размытые почвы; 2 – болотные почвы; 3 – отложения из макрофитов; 4 – пески; 5 – илистый песок; 6 – песчаный ил; 7 – глинистый (серый) ил; 8 – торфянистый ил; 9 – острова.

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 км² [10], а по оценкам авторов данного исследования в 2012 г. переход сплавин в заболоченные почвы измерялся 40 км² или 14 % площади водохранилища (табл. 4).

Несмотря на различные площади распределения и мощности осаждаемой толщи, объем и масса осадков постепенно уменьшаются с глубиной водоема (табл. 5). Однако по интервалам глубин максимальная скорость седиментации (кг/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° 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 м^3 | Вес, млн т | Скорость седиментации, год^{-1} | | |
|------------------------------|---------------|-------|---------------------|-------------------------|------------|--|--------|-----------------|
| | км^2 | % | | | | мм | тыс. т | кг/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 | 286 | 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 в 2012 г.

| Интервалы глубин, м | Площадь | | Средняя толщина, см | Объем, млн м^3 | Вес, млн т | Скорость седиментации, год^{-1} | | |
|---------------------|---------------|------|---------------------|-------------------------|------------|--|--------|-----------------|
| | км^2 | % | | | | мм | тыс. т | кг/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 взвешках, 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^2 | Вес отложений, млн т | Аккумуляция за период, тыс. т | | | Скорость аккумуляции, $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$ | | |
|----------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|------------------|---|------------------|------------------|
| | | | $C_{\text{орг}}$ | $N_{\text{общ}}$ | $P_{\text{общ}}$ | $C_{\text{орг}}$ | $N_{\text{общ}}$ | $P_{\text{общ}}$ |
| 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 $C_{\text{орг}}$ 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 $C_{\text{орг}}$ – 36 %, сточные воды – от 0,5 до 16,0 %. Другие источники – атмосферные осадки, выделение из отложений, бактериальная ассимиляция CO_2 и азотфиксация составляют 0,5–7,0 %. Значительная масса этих элементов сбрасывается через гидроузел: $C_{\text{орг}}$ – 64 %, $N_{\text{общ}}$ – 92 %, $P_{\text{общ}}$ – 67 %. Деструкция в воде составляет 28 %, в донных отложениях – 4 %. Высокий водообмен

(8–13,6 год⁻¹), обуславливающий сброс большей части органического вещества, и высокие скорости деструкции определяют низкий темп аккумуляции биогенных элементов – 4 % C_{орг}, 8 % N_{общ} и 33 % P_{общ}.

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.

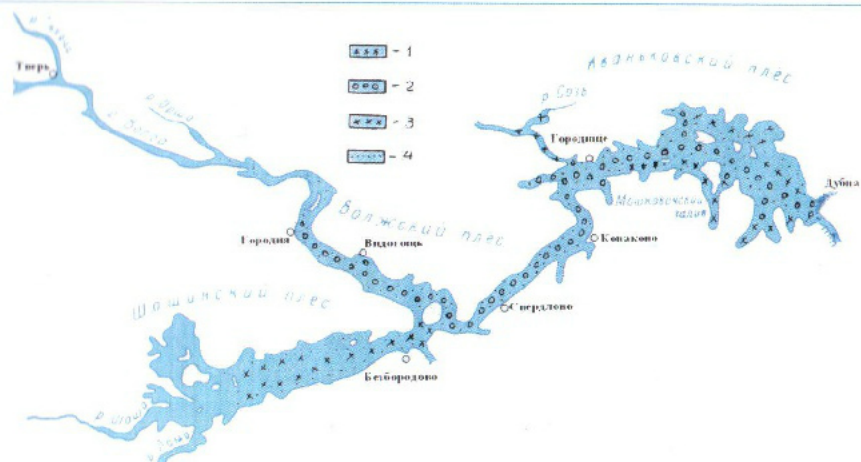


Рис. 3. Районирование Иваньковского водохранилища по физико-химическим характеристикам донных осадков: 1 – загрязнение сильное; 2 – среднее; 3 – слабое; 4 – загрязнение отсутствует.

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 Можковического залива в районе д. Корчева, 2 класс включает станции в затопленном русле Волги и выходах из заливов, где накоплены илстые 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-глеявых 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 Иваньковского 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 Можковический 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_{полн} и БПК₅, 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/дм³ в весенний период до 272 мг/дм³ в зимний период, а летом в среднем была около 221 мг/дм³. В замыкающем створе (верхний бьеф Иваньковской ГЭС, г. Дубна) ее значения варьировали от 132 весной до 281 мг/дм³ зимой, в летний период в среднем составляли 215 мг/дм³. Наиболее минерализована вода в водохранилище во все периоды года в Шошинском плесе. В зимний период минерализация воды здесь может достигать 487 мг/дм³, весной – 273, летом – 277, осенью – 341 мг/дм³.

Концентрации сульфатов в створе Городня в последние пять лет зимой изменялись от 13,7 до 21,3 мг/дм³, весной – от 10,2 до 16,5 мг/дм³, летом – от 6,9 до 15,3 мг/дм³. В створе Безбородово (Шошинский плес) – от 11,1 до 19,0 мг/дм³; в верхнем бьефе Иваньковской ГЭС – от 2,4 до 39,3 мг/дм³.

Диапазон изменения концентраций хлоридов в водохранилище составляет 1,3–13,6 мг/дм³. Максимальное значение зафиксировано в Шошинском плесе зимой. В остальных створах концентрации хлоридов не выше 10 мг/дм³.

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/дм³, в весенний 10–20,9, в летнюю межень 7,7–17,1, осенью 5,8–12,4 мгО/дм³.

Легкоокисляемые органические соединения представлены низкомолекулярными ациклическими органическими кислотами, углеводами, аминокислотами, пептидами, спиртами и т. д. [4]. Наиболее высокие значения БПК₅ отмечаются в летний период и составляют 1,5–6,5 мгО/дм³, в осенний – значения БПК₅, как правило, ниже ПДК для рыбохозяйственных водоемов (2,0 мгО/дм³), что является свидетельством достаточной самоочищающей способности легкоокисляемой органики в водохранилище.

Высокие концентрации нитратов (до 0,93 мг/дм³) 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 мг/дм³ – 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 мг/дм³ соответственно. В летний период фосфат-ион активно потребляется с высокой степенью оборота.

Концентрация общего железа в воде обычно превышает ПДК_{рх} (0,1 мг/дм³) 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_{рх}.

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 °С, а в сентябре 2017 г. – на 9 °С.

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 Мошковичском

аливе водохранилища отмечены такие южные виды, как водяной орех (илим) *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), устойчивым режимом стоковых и ветровых течений и коэффициентом водообмена 8–9 год⁻¹.

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

- Благоприятным для водоема кислородным режимом (5,8–20,9 мг О₂/дм³).

- 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 разрушающее 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-

римальных 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 – неперемное условие экологического благополучия и комплексного использования Ивановского 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.А. Современное состояние качества воды Ивановского водохранилища // Эколого-гидрологические проблемы изучения и использования водных ресурсов. Казань, 2006. С. 124–127.
4. Дебольский В.К., Кочарян А.Г., Григорьева И.А., Лебедева И.П., Толкачев Г.Ю. Проблемы формирования качества воды в поверхностных источниках водоснабжения и пути их решения на примере Ивановского водохранилища // Вода: химия и экология. 2009. № 7. С. 2–11.
5. Григорьева И.А. Трансформация химического состава воды Ивановского 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., Зимина 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 Ивановского 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.

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

10. Тихомирова А.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

