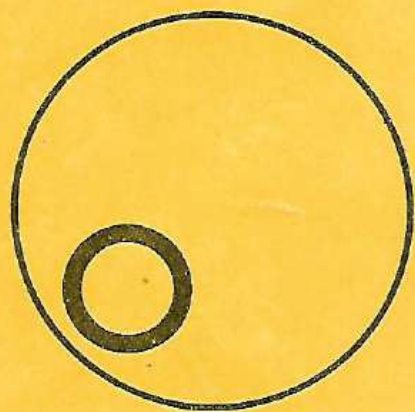


ISSN 0130-2906

МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГИДРОЛОГИЯ



1995 № 6

Издательский центр "Метеорология и гидрология"

Влияние гидрометеорологических факторов на формирование качества воды Иваньковского водохранилища в летний период

И. Л. Григорьева*, Г. В. Ковалышева*

На основе анализа результатов наблюдений, проведенных в летние периоды 1992—1993 гг., показана зависимость показателей качества воды Иваньковского водохранилища от гидрометеорологических факторов, к которым относятся: температура воды и температура воздуха, уровень режим, объем притока воды в водоем, объем атмосферных осадков, выпавших на акваторию водоема.

Проблема качества воды водных объектов, его мониторинга и прогнозирование будущего состояния является прямым следствием все более интенсивного использования водных ресурсов. Многие водохранилища создавались для снабжения водой крупных городов, поэтому проблема качества воды водоемов питьевого назначения стоит особо остро. Одним из таких водоемов является Иваньковское водохранилище — основной источник водоснабжения г. Москвы.

Иваньковское водохранилище образовано в 1937 г. в результате перекрытия русла Волги у с. Иваньково плотиной гидроэлектростанции. Объем водохранилища 1,12 км³, площадь водного зеркала — 327 км², средняя глубина 3,2 м.

Ведущую роль в формировании качества воды Иваньковского водохранилища играют: приток воды в водоем по р. Волге и р. Тверце, поступление загрязняющих веществ от неконтролируемых источников, с грунтовыми водами и сточными водами г. Твери, а также внутриводоемные процессы, которые, в свою очередь, находятся в тесной зависимости от гидрометеорологических факторов. Выяснению роли последних в формировании качества воды Иваньковского водохранилища посвящена данная работа, выполненная на основе результатов наблюдений, проведенных в летние периоды 1992—1993 гг.

Детальные исследования качества воды Иваньковского водохранилища начаты в 50-х годах и осуществляются в настоящее время подразделениями Росгидромета, комитетами по охране природы, различными научными и производственными организациями. С 1978 г. по настоящее время мониторинг качества воды водохранилища проводится Иваньковской НИС ИВП РАН на 9 створах, представленных на рис. 1. Эти наблюдения включают: измерение температуры воды, цветности, содержания растворенного кислорода, значений рН, значений перманганатной (мг/л атомарного кислорода) и хлорной (мг/л атомарного хлора) окисляемости, минерализации воды и содержания главных ионов, минерального, валового и общего фосфора (PO_4^{-3} , $P_{вал}$, $P_{общ}$), минерального (ΣN), аммонийного

* Институт водных проблем Российской академии наук.

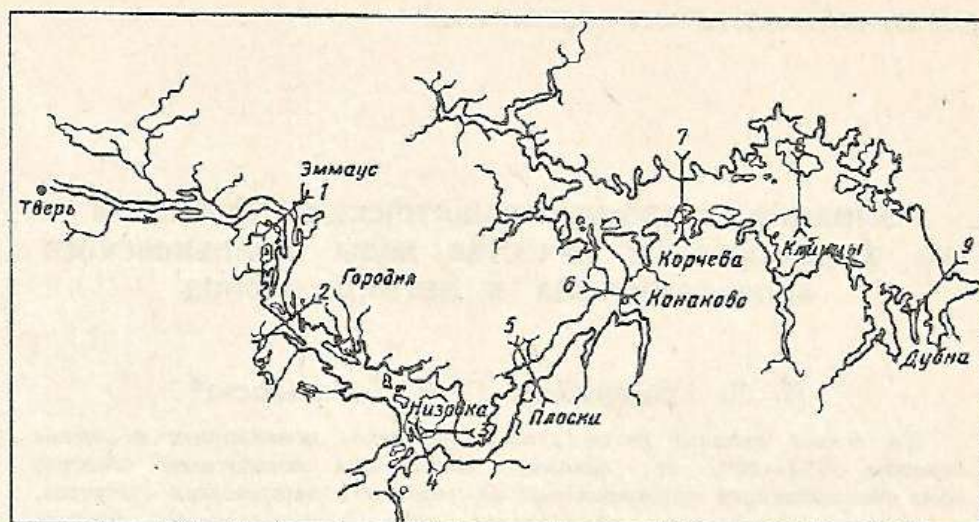


Рис. 1. Схема Иваньковского водохранилища и расположение гидрологических створов мониторинговых наблюдений за качеством воды.

и нитратного азота, массы взвешенных веществ, жесткости воды и БПК₅ [4].

Было проведено по пять летних гидрохимических съемок в каждом году, отбор проб на гидрохимический анализ осуществлялся с трех горизонтов (поверхность, дно и глубина 3 м), количество вертикалей на каждом створе варьировало от трех до пяти, в зависимости от ширины створа и глубины. На створе Плоски отбор проводился практически ежедневно.

Гидрометеорологическая обстановка в районе водохранилища в 1992—1993 гг. была следующей. Оба года были средними по водности: за первых девять месяцев приток воды в водохранилище составил в 1992 г. 7326 км³, а в 1993 г. — 7347 км³ при различном распределении объемов притока по месяцам. Объемы атмосферных осадков, выпавших на акваторию водоема в летние периоды обоих лет, были различными и составили в 1992 г. 22 км³, а в 1993 г. — 82 км³. Лето 1992 г. было более жарким и засушливым, а лето 1993 г. — прохладным и дождливым. Если температура воды в водохранилище в 1992 г. даже в июне была 19—20°C, а в июле — августе она поднялась до 22—24°C, то в июне 1993 г. температура воды составила 15—16°C, и лишь в конце июля вода прогрелась до 21°C.

Различным был уровеньный режим водохранилища в указанный период. Так, в июле — августе 1993 г. отметки уровня в водохранилище были на 30—50 см выше отметок соответствующих месяцев 1992 г. Разная гидрометеорологическая ситуация в рассматриваемый период определила неодинаковый характер протекания внутриводоемных процессов в водохранилище и вследствие этого значения характеристик качества воды были также различны.

Минерализация воды на створе Плоски в июне 1992 г. равнялась 300 мг/л, а в июне 1993 г. — 185 мг/л. Такая большая разница в минерализации объясняется различными ее значениями в предполоводный период. В марте на створе Плоски минерализация воды составила 438 мг/л в 1992 г. и 271 мг/л в 1993 г. при практически одинаковых объемах притока воды в водохранилище в марте — апреле. Разница в 115 мг/л между минерализациями воды в 1992 и 1993 гг. опровергает общепринятое

утверждение о незначительном изменении этого показателя год от года. В целом же, почти в течение года, за исключением предполоводного периода в отдельные годы, минерализация воды Иваньковского водохранилища не превышает желательной величины (400 мг/л) [2] для водоемов питьевого назначения.

Главными компонентами ионного состава Иваньковского водохранилища являются ионы HCO_3^- и Ca^{+2} , содержание которых в воде зависит от изменения условий питания р. Волги в годовом цикле, а также от гидрометеорологической ситуации на водосборе. Так, летом 1992 г. содержание этих ионов в воде водохранилища было выше, чем летом 1993 г.

Пределы изменения концентрации иона SO_4^{-2} летом 1992 г. составили 12—21 мг/л, а летом 1993 г. 15—27 мг/л. Несколько большие концентрации иона SO_4^{-2} летом 1993 г. объясняются, по всей видимости, более значительным поступлением его в водоем с атмосферными осадками и водой притоков.

Высокие уровни содержания иона Cl^- в воде Иваньковского водохранилища не зависят практически ни от водности года, ни от гидрометеорологических параметров и определяются лишь поступлением его со сточными водами г. Твери. Летом 1992 г. пределы его изменения составили 5,7—11,0 мг/л, а летом 1993 г. 6,4—9,2 мг/л.

Для оценки содержания органического вещества в воде Иваньковского водохранилища летом 1992—1993 гг. были использованы данные по цветности, перманганатной окисляемости (ПО) в БПК₅.

Высокая цветность является наиболее существенным недостатком качества воды верхней Волги и Иваньковского водохранилища. Значения ее по многолетним данным ИБВВ и ИВП РАН составляют: весной — 80°, летом — 65°, осенью — 45°, зимой — 30°. По данным Росгидромета среднемесячные значения цветности Иваньковского водохранилища в июне — июле равны 45—50°, в августе — 65°. По нашим наблюдениям, цветность воды водохранилища изменялась в июне — августе 1992 г. от 40 до 50°, а летом 1993 г. от 50 до 60°, что сравнимо с многолетними значениями и говорит о малой изменчивости этого показателя год от года в летний период. В отдельные сезоны и месяцы могут наблюдаться значительные отклонения значений цветности от среднемноголетних, как случилось в конце сентября — октябре 1993 г., когда значения цветности на створе Плоски достигали 120°, что связано с повышенным в том году притоком высокоокрашенных вод с водосбора.

В соответствии с особенностями формирования поверхностного стока перманганатная окисляемость как в притоках, так и в самом водохранилище достигает высоких значений. Величина ПО в воде Волги и в Иваньковском водохранилище по данным многолетних наблюдений изменяется в пределах: зимой — от 2,7 до 8,8; весной — от 12,7 до 19,2; летом — от 4,1 до 22,6; осенью — от 4,1 до 15,5 мг/л атомарного кислорода. Наибольшие значения ПО в основном наблюдаются весной, когда талые воды сносятся с поверхности и выщелачивают из почв различные растворимые органические вещества. Высокие значения ПО в летний период связаны с развитием и отмиранием водной растительности и фитопланктона, поэтому наибольших значений она будет достигать в тот период, когда гидрометеорологические условия будут благоприятны

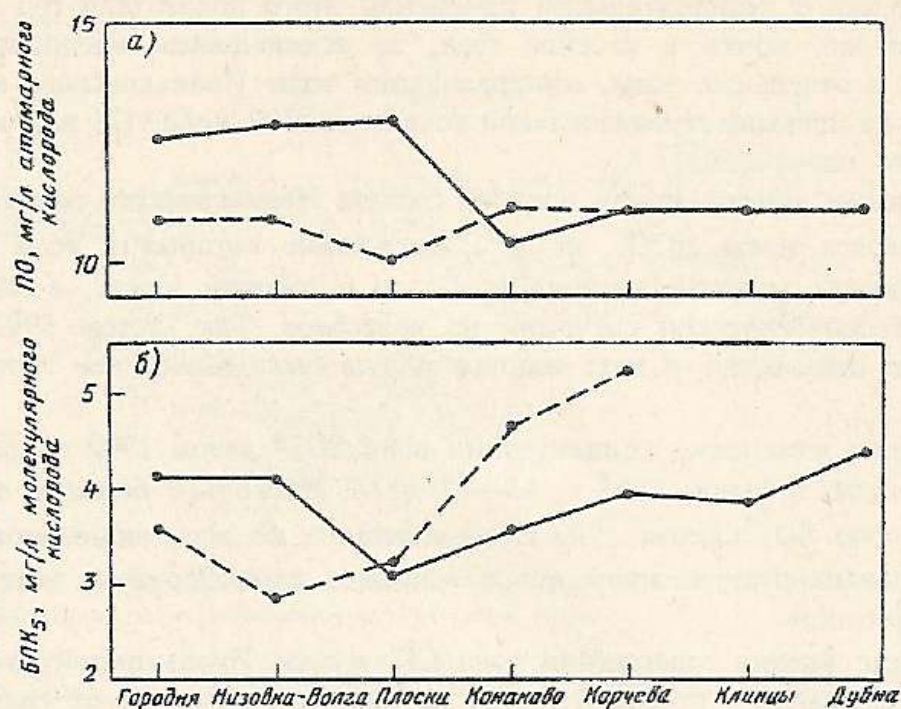


Рис. 2. Изменение перманганатной окисляемости (а) и БПК₅ (б) в Ивановском водохранилище в летние периоды 1992 (сплошная) и 1993 (пунктир) годов.

для жизнедеятельности гидробионтов. Это наблюдалось летом 1992 г., когда значения ПО были несколько выше, чем летом 1993 г., особенно на трех верхних створах (Городня, Низовка-Волга, Пlosки) (рис. 2а). Значения ПО летом 1992 г. изменялись от 11 до 13 мг/л атомарного кислорода, минимум наблюдался на створе г. Конаково, максимум — на створах Низовка-Волга и Пlosки. Летом 1993 г. колебания значений ПО были незначительны: от 10 мг/л на створе Пlosки до 11,2 мг/л атомарного кислорода на створах Конаково, Корчева, на которых значения ПО практически постоянны год от года. Значения ПО, наблюдаемые в последние годы, не превысили среднемноголетних значений.

Значения БПК₅, используемого для оценки степени загрязненности водного объекта и содержания легкоокисляющихся органических веществ, как в Волжском, так и в Ивановском плесе, по многолетним данным, обычно не превышают 2,0 мг/л молекулярного кислорода. Однако в период массового развития фитопланктона значения БПК₅ в этих плесах достигают 2,6—3,2 мг/л молекулярного кислорода, а в Шошинском плесе — 4,5—5,5 мг/л молекулярного кислорода. В последние годы наблюдается увеличение значений БПК₅, что свидетельствует об усилении степени загрязненности водоема органическими веществами. Летом 1992 г. значения БПК₅ изменялись в июне от 2 до 4, в июле от 3,1 до 4,3; в августе от 4 до 5,7 мг/л молекулярного кислорода; летом 1993 г. соответственно от 1 до 5; от 4 до 6,65 и от 2,25 до 5 мг/л молекулярного кислорода. В августе 1992 г. на створах Клиницы и Корчева и в июле 1993 г. на створах Конаково, Корчева значения БПК₅ превысили допустимую величину (5 мг/л молекулярного кислорода) [2] для водоемов питьевого назначения. Динамика БПК₅ в водохранилище по створам в летние периоды 1992—1993 гг. представлена на рис. 2б.

Концентрация биогенных элементов в воде Иваньковского водохранилища в 1960—1976 гг. [3]

Элемент	Зима	Весна	Лето	Осень
Аммонийный азот, мг/л	0,48	0,19	0,22	0,30
Нитратный азот, мг/л	0,79	0,41	0,13	0,15
Минеральный фосфор, мг/л	0,052	0,018	0,038	0,032

Содержание биогенных элементов в воде Иваньковского водохранилища, так же как и других характеристик качества воды, в значительной мере определяется составом воды весеннего половодья, составом и объемом сточных вод, а также внутриводоемными процессами. Для весеннего речного стока Волги характерно высокое содержание азота и фосфора, что связано со значительной сельскохозяйственной освоенностью ее площади водосбора. Максимальные концентрации как азота, так и фосфора, особенно минеральных форм, приходится на первую фазу половодья, воды которого проходят транзитом через Иваньковское водохранилище. В водохранилище задерживаются воды второй половины половодья, для которой характерно высокое содержание растворенного органического вещества и меньшие концентрации биогенных элементов. Роль поверхностного стока в формировании режима биогенных элементов усиливается тем, что в вегетационный период Иваньковское водохранилище почти не сбрасывается, его приплотинный плес обычно до конца лета заполнен трансформированными водами половодья. Данные о содержании биогенных элементов в водохранилище, полученные ИБВВ РАН за 1960—1976 гг., приведены в таблице.

На рис. 3а, где представлена динамика изменения содержания иона аммония NH_4^+ в летние периоды 1992—1993 гг., хорошо видно, что во все летние месяцы 1993 г. и практически на всех створах содержание NH_4^+ в воде водохранилища было выше, чем в 1992 г., что объясняется различными гидрометеорологическими условиями и соответственно неодинаковой интенсивностью процессов фотосинтеза. Поскольку NH_4^+ является наиболее усвояемой гидробионтами формой азота, летом 1992 г. при более интенсивных процессах развития фитопланктона, очевидно, происходило более значительное усвоение и соответственно уменьшение содержания его в воде водохранилища. Концентрация иона аммония в воде водохранилища изменялась летом в августе 1992 г. от 0,15 мг/л в створе Дубна до 0,52 мг/л в створе Плоски; летом 1993 г. — от 0,26 мг/л в июле в створе Конаково до 0,74 мг/л в июне в створе Низовка-Волга. Средняя концентрация аммонийного азота в воде водохранилища в летний период 1992 г. была равна 0,23 мг/л, что практически не отличается от среднемноголетней; летом 1993 г. его концентрация в воде составила 0,40 мг/л, что почти в два раза выше среднемноголетней (см. таблицу).

Таким образом, среднее содержание аммонийного азота в воде водохранилища в летний период зависит от внешних гидрометеорологических условий. В периоды, благоприятные для развития гидробионтов, его концентрация близка к среднемноголетнему значению, а в прохладное дождливое лето выше его.

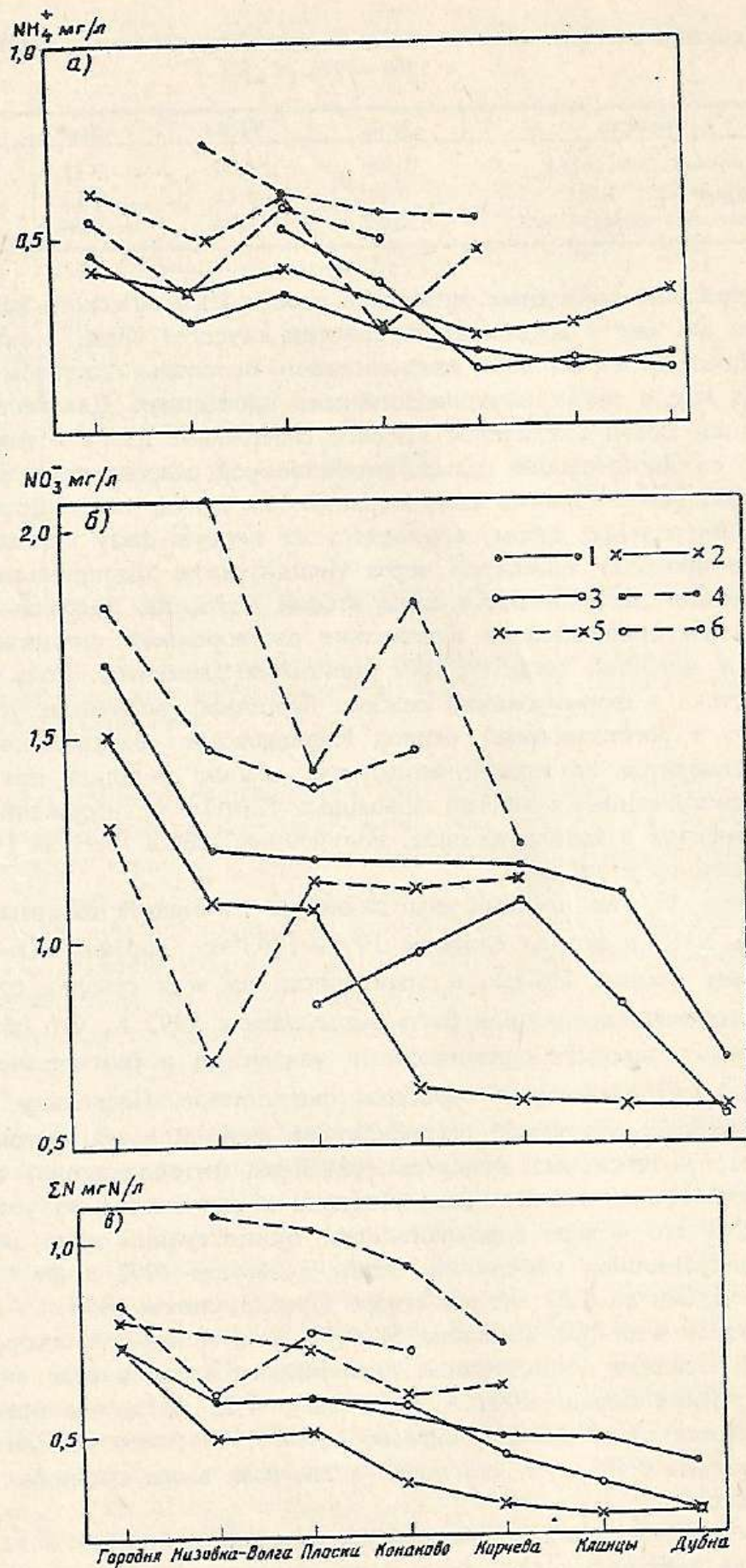


Рис. 3. Динамика ионов NH_4^+ (а), NO_3^- (б) и значений суммы азота минерального (в) в воде Иваньковского водохранилища в июне (1, 4), июле (2, 5) и августе (3, 6) 1992 (1, 2, 3) и 1993 гг. (4, 5, 6).

На рис. 3б, в представлена динамика изменения содержания нитратов (NO_3^-) и суммы минерального азота ΣN , концентрация которых в воде водохранилища во все летние месяцы 1993 г. на всех створах была выше, чем летом 1992 г., что свидетельствует о более интенсивном смыве с водосбора и поступлении NO_3^- с грунтовыми водами и водами притоков в 1993 г.

Средняя концентрация нитратного азота летом 1992 г. составила 0,22 мг/л, а летом 1993 г. — 0,33 мг/л, что больше среднемноголетней, которая равняется 0,13 мг/л (см. таблицу). На створе Плоски средняя концентрация нитратного азота за летний период 1992 г. составила 0,23 мг/л, а в 1993 г. — 0,30 мг/л, что хорошо согласуется с данными Н. П. Ахметьевой и М. В. Лолы за 1984—1987 гг. [1]. Таким образом, содержание нитратного азота в воде водохранилища остается на уровне середины 80-х годов, несмотря на уменьшение количества удобрений, вносимых в почву.

Концентрация общего фосфора в воде водохранилища летом 1992 г. была несколько выше, чем в 1993 г. Пределы изменения по месяцам составили: июнь — 0,09—0,12 мг/л в 1992 г. и 0,09—0,14 мг/л в 1993 г.; июль — соответственно 0,07—0,15 и 0,04—0,11; август — соответственно 0,09—0,17 и 0,10—0,17 мг/л. Концентрация минерального фосфора в воде водохранилища в летние периоды обоих лет была примерно одинаковой и изменялась в 1992 г. от 0,01 мг/л в июле у г. Дубны до 0,08 мг/л в августе у Клинцов; в 1993 г. — от 0,01 мг/л в июле у Корчева до 0,05 мг/л в июне на створе Низовка-Волга. На створе Плоски концентрация минерального фосфора в летние периоды 1992—1993 гг. колебалась в среднем от 0,02 до 0,05 мг/л. По данным [1], изменение концентрации минерального фосфора в воде водохранилища в районе створа Плоски составило в летние периоды 1985—1987 гг. 0,02—0,04 мг/л. Таким образом, летом двух рассматриваемых лет увеличения содержания минерального фосфора в воде водохранилища практически не произошло.

По многолетним данным ИБВВ РАН (1969—1976 гг.), средняя концентрация кислорода в воде водохранилища составила зимой 3,8 мг/л; весной — 9,7; летом — 7,2 и осенью 9,3 мг/л [3]. В последние годы произошло заметное улучшение кислородного режима, исключая Шошинский плес. Так, летом 1992 г. средняя концентрация кислорода в воде водохранилища была 9,4 мг/л, а летом 1993 г. — 8,7 мг/л. Более высокие концентрации кислорода в воде водохранилища летом 1992 г., очевидно, можно объяснить насыщением им верхних слоев при более интенсивном процессе фотосинтеза в этот период.

Показатель концентрации водородных ионов указывает на кислую, нейтральную или щелочную реакцию. Пределы колебания значений рН в воде Волги и водохранилища невелики и равны по многолетним данным: зимой — 6,7—7,5; весной — 6,0—6,5; в летне-осенний период — 8,2—8,4 [3]. Летом 1992 г. значения рН изменялись от 7,7 в августе у Плосок до 8,6 в июле у Конаково, летом 1993 г. — от 7,6 в августе у Городни до 8,2 в июле у Конаково.

Результаты наблюдений, проведенных летом 1992—1993 гг., указывают на взаимосвязь характеристик качества воды Иваньковского водохранилища с гидрометеорологическими факторами, к которым относятся: объем притока воды в водоем, температура воздуха и температура воды, объем

атмосферных осадков, выпавших на акваторию водоема, уровенный режим водохранилища.

Различные метеорологические условия в летние периоды 1992—1993 гг. при фактически одинаковых объемах притока в водоем определили неодинаковый характер протекания внутриводоемных процессов, и как следствие этого отдельные показатели гидрохимического режима в оба года были различны: минерализация воды и содержание главных ионов, концентрация SO_4^{2-} , содержание NH_4^+ , NO_3^- , O_2 , значения pH и т. д.

Сравнение результатов наблюдений за два рассматриваемых года с данными предыдущих лет показало, что увеличения загрязнения водоема биогенными веществами не произошло. Содержание в воде водохранилища нитратного азота, минерального и валового фосфора остается на уровне середины 80-х годов. Традиционно высокими, превышающими допустимые значения для водоемов питьевого назначения, были показатели цветности и перманганатной окисляемости. В августе 1992 г. на створах Клиницы и Корчева и в июле 1993 г. на створах Конаково и Корчева, значения БПК₅ превысили допустимую величину (5 мг/л молекулярного кислорода) для водоемов питьевого назначения. В 1992—1993 гг. наблюдалось увеличение значений БПК₅ по сравнению с началом 80-х годов, что говорит о возрастающем загрязнении водоема органическими веществами.

Учитывая большую роль гидрометеорологических факторов в формировании качества воды Ивановского водохранилища при дальнейших наблюдениях не следует ограничиваться лишь отбором проб воды на химический анализ, а необходимо проводить также исследования водного, термического и гидродинамического режимов водоема и гидрометеорологической обстановки на водосборе. Традиционные физико-химические методы при мониторинге водных объектов необходимо дополнить методами биотестирования и биоиндикации, что должно позволить перейти в дальнейшем к более совершенному виду мониторинга — экологическому.

Литература

1. Ахметьева Н. П., Лола М. В., Григорьев В. Т. Влияние сельскохозяйственных мероприятий на качество природных вод водоохранной зоны Ивановского водохранилища. — Водные ресурсы, 1992, № 1, с. 114—126.
2. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. — М., Наука, 1986, 367 с.
3. Ивановское водохранилище и его жизнь. — Л., Наука, 1978, 304 с.
4. Лурье Ю. Ю. Унифицированные методы анализа вод. — М., Химия, 1973, 376 с.

Поступила
6 II 1995

EFFECT OF HYDROMETEOROLOGICAL FACTORS ON THE IVANKOVO RESERVOIR WATER QUALITY IN SUMMER

I. L. Grigor'eva and G. V. Kovalysheva

Analysis of the results of summertime 1992—1996 observations has shown the dependence of water quality indices of the Ivankovo reservoir on hydrometeorological factors: water and air temperature, level regime, water inflow to the reservoir, precipitation amount over the water body.

Технические требования к рукописи, сдаваемой в редакцию

журнала "Метеорология и гидрология"

1. Объем статьи не должен превышать 15 страниц машинописного текста, включая список литературы, таблицы и рисунки (каждый рисунок идет за счет одной страницы текста). Число рисунков не может превышать трех на одну статью. Следует указать индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК).

2. В комплект статьи, присылаемой автором, должны входить: основной текст статьи, аннотация не более 12 строк, дающая ясное представление о содержании статьи; список литературы в алфавитном порядке авторов, отдельно русской и иностранной (составляется согласно ГОСТу 7.1—76); таблицы статьи с заголовками, напечатанные через два интервала на отдельных листах; дубликаты формул — выписанные отдельно все формулы статьи и буквенные обозначения величин, имеющие одновременно и степени и индексы (например, a^b), приводимые в порядке последовательности столбиком и размеченные для набора (см. ниже); графический материал; опись рисунков; акт экспертизы на статью. Все перечисленное должно быть в двух экземплярах.

Автор по желанию может представить кроме машинописного экземпляра статьи ее запись на гибких магнитных носителях — дискетах (360 KB, 1.2 MB — 5'25'') в следующих форматах: текст — в Microsoft Word (версии 4.0; 5.0), рисунки — в TIFF; PC Paintbrush. Рисунки не следует вставлять в текст статьи.

В связи с переизданием журнала на английском языке в США автор может предложить свой перевод за отдельную оплату. Перевод должен быть полным и точным, оба текста — адекватными.

3. Рукопись должна быть напечатана на машинке через два интервала на одной стороне стандартного листа плотной белой бумаги с полями: нижнее и левое — 25 мм, правое — 10 мм, верхнее — 20 мм. В редакцию присылаются два экземпляра — первый и второй — оба с чистым, четким, "неслепым" шрифтом.

4. Математические и химические обозначения и формулы вписываются в текст тушью или чернилами с соблюдением размеров прописных и строчных букв. Во избежание неясности прописные и строчные буквы, имеющие одинаковое начертание (*c, k, o, p, s, u, v, w, x, y, ψ*), следует подчеркнуть двумя черточками: прописные — снизу (S), а строчные —

сверху (p). Необходимо тщательно вписывать такие буквы, как j ("йот") и l ("эль"). Греческие буквы обводятся кружком красного цвета. Названия неясных букв желательно выносить на поля (например, "эль", "кси", "дзета", "не эль", "и", "йот"). Надстрочные индексы и показатели степени отмечают знаком превышения ($a^{\overline{b}}$), а подстрочные индексы — знаком занижения ($a_{\underline{b}}$). Математические символы, которые набираются прямым, а не курсивным шрифтом, типа log, lim, max, sin, tg, Re, Im, числа Релея (Re), Россби (Ro), Кибеля (Ki) и др., а также химические символы отмечают квадратной скобкой снизу (min). Необходимо

дать расшифровку всех параметров, включая подстрочные и надстрочные индексы, а также всех аббревиатур (условные сокращения слов). Необходимо также соблюдать единообразие терминов.

Иностранные фамилии, используемые в статье и не имеющиеся в иностранном списке литературы должны приводиться в скобках на языке оригинала.

Формулы в дубликатах размечаются таким же образом, как и в тексте статьи. На каждой странице дубликатов может быть написано 6—8 строк формул с расстоянием между строками 1,5—2 см. На левом поле страницы дубликатов указывается номер страницы рукописи, к которой относится формула.

5. Весь графический материал должен быть выполнен тушью на кальке или плотной белой бумаге (максимальный формат рисунка — 20 × 28 см) и прилагаться к рукописи отдельно (без вклеек в рукопись). На отдельном листе прилагается список подрисуночных подписей, где указываются номера рисунков, подписи к ним и пояснения условных знаков на рисунках (подписи на самих рисунках делать не следует). На обороте рисунков должны быть указаны фамилия автора, название статьи и номер рисунка. В редакцию посылаются рисунки в двух экземплярах.

6. Рукопись должна быть подписана автором "в печать" с указанием фамилии, имени и отчества (полностью), года рождения, домашнего и служебного адресов и телефонов, названия учреждения, в котором была выполнена работа, ученой степени и звания автора, а также семейного положения, наличия детей и льгот при налогообложении.

7. В случае возвращения статьи автору для переработки датой поступления считается дата получения редакцией окончательного текста. Просьба редакции о переработке статьи не означает, что статья принята к печати; после переработки она вновь рассматривается редколлегией.

8. Подписанная автором рукопись статьи является оригиналом для печати. Вносить в корректуру статей значительные исправления и дополнения против оригинала автором не разрешается.

9. Редакция сохраняет за собой право делать необходимые редакционные исправления, дополнения или сокращения.