

ВЛИЯНИЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА КАЧЕСТВО ВОЛЖСКОГО ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. МОСКВЫ

Ю.С. Даценко

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: yuri0548@mail.ru

Анализируются результаты регулярного многолетнего (1958–2004) мониторинга качества воды Иваньковского водохранилища – базового водоема Волжской системы водоснабжения г. Москвы. С использованием данных о расходах воды в основных притоках водохранилища (реках Волга и Тверца) рассчитаны годовые балансы аммонийного иона, нитратов, фосфатов, общего железа, марганца и органического вещества по показателю перманганатной окисляемости за период наблюдений. Анализируются многолетние колебания относительных балансов химических веществ в водохранилищах, которые рассчитываются по отношению разницы их притока и стока в водохранилище. Расчетами показано, что в результате внутриводоемных процессов в условиях замедления речного стока в Иваньковском водохранилище ниже створа р. Волги у Твери происходит уменьшение концентраций рассмотренных показателей и стока химических веществ. Установлены значимые статистические зависимости относительных балансов химических веществ в водохранилище с коэффициентом его водообмена по притоку, характеризующиеся высокими коэффициентами корреляции: 0,67 для аммонийного иона, 0,69 для нитратов и железа, 0,71 для марганца, 0,75 для органического вещества и 0,78 для фосфатов (при 5%-м уровне значимости). При небольшом периоде водообмена Иваньковского водохранилища увеличение нитратной формы азота за счет окисления аммонийной формы не компенсирует приток нитратов, в результате в большинстве расчетных лет наблюдается положительная разница притока и стока нитратов в водохранилище. Сравнительно небольшое снижение концентраций аммонийного азота связано с наличием его внутренних источников, а также сточных вод Твери, Конаково и других населенных пунктов. Выявлены особенности трансформации органического вещества в Иваньковском водохранилище, состоящие в том, что приток высокоцветных вод рек Орша и Созь, дренирующих крупное торфяное болото Васильевский Мох, заметно нивелирует снижение содержания органического вещества в водохранилище под влиянием внутриводоемных процессов, и среднесуточные значения перманганатной окисляемости в створе Городни на входе водохранилища и в створе первой паромной переправы различаются незначительно. Влияние сточных вод г. Твери оценивалось сопоставлением концентраций загрязняющих веществ выше и ниже пункта сброса сточных вод города. Показано, что степень этого влияния зависит от водности года и заметно усиливается в годы с низким стоком в результате снижения интенсивности разбавления загрязнений речными водами.

Ключевые слова: баланс химических веществ, коэффициент водообмена, сточные воды, водность года, внутриводоемные процессы

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения качественной водой для питья и хозяйственно-бытовых нужд является одним из ключевых моментов водохозяйственной и в целом экологической политики Российской Федерации. В отличие от проблем количества воды для обеспечения водоснабжения, которые обычно решаются на далекую перспективу, проблема качества воды никогда не теряет своей актуальности. Во-первых, несмотря на широкие возможности современной технологии водоподготовки, качество воды, подаваемой потребителю, в значительной степени зависит от состава исходной для водопроводной станции воды, т. е. от качества воды природных водных объектов – источников водоснабжения. Во-вторых, от нее зависит стоимость водоподготовки, что всегда актуально [Порядин, 2013].

Водоснабжение большинства крупных городов мира базируется на использовании водных ресурсов

поверхностных источников, как правило, это речные воды со свойственными им сильными внутри- и межгодовыми колебаниями характеристик стока, а также качества воды. Обеспечение гарантированных расходов воды на водоснабжение в этом случае достигается путем регулирования стока и создания водохранилищ, в которых качество воды, поступающей с водосбора, претерпевает существенные изменения [Данилов-Данильян, Лосев, 2006; Даценко, Эдельштейн, 1999].

В настоящее время регулирование стока рек – источников водоснабжения г. Москвы – обеспечивается сложным водохозяйственным комплексом, состоящим из трех поочередно создававшихся гидротехнических систем – Волжской, Москворецкой и Вазузской [От истока..., 1999].

История Волжского источника водоснабжения г. Москвы начинается с создания самого верхнего водохранилища Волжского каскада – Иваньковского.

Это водохранилище относится к котловинно-долинному типу, полный объем которого при НПГ составляет 1120 млн м³, площадь поверхности – 327 км², средняя глубина – 3,4 м [Гидрометеорологический..., 1975]. Иваньковское водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока и обеспечивает водой канал им. Москвы, питающий водохранилища водораздельного бьефа.

Основная составляющая приходной части водного баланса Иваньковского водохранилища – поверхностный сток (97%). На долю р. Волги приходится 59% общего притока, р. Тверцы – 24%, р. Шоши и других притоков Иваньковского водохранилища – 17% [Иваньковское..., 1978]. В расходной части баланса доминирует сброс воды в нижний бьеф гидроузла и водозабор в канал им. Москвы. Значительное превышение объема годового притока воды над объемом водохранилища определяет его высокую проточность и большие величины коэффициента водообмена.

Иваньковское водохранилище играет важнейшую роль в формировании качества воды Волжского источника водоснабжения г. Москвы. Основные его особенности, влияющие на формирование качества воды, – наличие крупного источника загрязнений в виде сточных вод Твери в верхней части водохранилища и обширного, заросшего макрофитами мелководного Шошинского плеса [Иваньковское..., 2000]. Кроме того, водосбор Верхней Волги характеризуется высоким содержанием органического вещества в реках, что является основным недостатком качества воды этого источника водоснабжения [Даченко, 2009].

Данные мониторинга режима качества воды водохранилища позволяют провести обобщенную статистическую оценку роли водохранилища в процессах формирования качества волжской воды. Цель настоящей работы – балансовыми расчетами получить количественные оценки степени влияния Иваньковского водохранилища на изменение стока химических веществ Волги и Тверцы и проанализировать основные факторы, определяющие интенсивность этого влияния.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В методологии гидрохимических исследований для оценки влияния водохранилищ на химический сток и формирование качества воды наиболее распространен принцип вещественных балансов, состоящий в сопоставлении (по возможности) приходных и расходных статей баланса химических веществ в годы разной водности [Эдельштейн, 1998]. Этот способ оценки весьма трудоемок, т. к. требует проведения регулярных комплексных на-

блюдений за составляющими водного и вещественного балансов в течение всего внутригодового гидрологического цикла.

Относительно высокая степень гидрометрической изученности водосбора Иваньковского водохранилища (около 75% общей площади) позволяет достаточно надежно рассчитывать основную приходную составляющую водного баланса водохранилища – речной приток. Это, в свою очередь, повышает достоверность балансов химических и взвешенных веществ. Информационной основой для их составления послужили:

- данные многолетних наблюдений за качеством воды в основных притоках водохранилища – реках Волга и Тверца (створы наблюдений в Твери выше узла слияния этих рек и выше пункта сброса сточных вод города) и в приплотинном участке водохранилища (створ – первая паромная переправа), полученные лабораториями Мосводоканала по единым методикам с частотой два раза в месяц за период с 1958 по 2004 г. Помимо перечисленных пунктов, наблюдения велись также у п. Городня в 20 км ниже Твери (рис. 1). После 2004 г. программа мониторинга в Мосводоканале была изменена, частота контроля уменьшилась и ряды наблюдений при этом стали неоднородными, поэтому при анализе многолетних балансов нами не использовались;

- результаты гидрологических наблюдений на сети постов Госкомгидромета (р. Волга – д. Старица, р. Тверца – д. Медное, Иваньковское водохранилище – ГЭС) за этот же период.

По данным мониторинга качества воды во входных створах и в сбросе из Иваньковского водохранилища анализировались многолетние величины следующих показателей: содержание органического вещества по перманганатной окисляемости, концентрации аммонийного иона, нитратов, железа общего, марганца и фосфатов.

Влияние водохранилища на трансформацию химического стока оценивалось по результатам анализа расчетов баланса химических веществ в водохранилище за многолетний период. Приходная часть баланса рассчитывалась путем произведения концентраций показателей качества в реках Волга и Тверца на расход воды этих рек. Приток воды с неосвещенной гидрометрическими наблюдениями площади водосбора водохранилища рассчитывался по модулю стока, определенному по расходам воды в створе р. Волга (г. Старица). Концентрации рассматриваемых показателей в боковых притоках водохранилища при отсутствии мониторинга качества воды на них принимались равными средней концентрации в Волге и Тверце. Сток химических веществ из водохранилища определялся произведением расхода сброса воды через Иваньковскую плотину (с учетом

водозабора в канал им. Москвы) на концентрацию веществ в приплотинном участке водохранилища, измеренную у первой паромной переправы канала им. Москвы. Результирующая величина баланса представляет собой разницу между суммарным притоком веществ в водохранилище и их сбросом из него. Поскольку целью нашей работы была оценка влияния водохранилища на сток рек Волги и Тверцы, то все источники химического притока ниже этих створов относились нами к внутренним источникам, т. е. рассматривалось влияние водохранилища на трансформацию качества воды путем изменения концентраций как под влиянием процессов трансформации веществ в водной массе водохранилища, так и в результате поступления веществ из источников (речных притоков, сбросов сточных вод, обменных процессов на границе вода – дно) ниже створов Волги и Тверцы в г. Твери. Если концентрации показателей качества воды в поверхностных источниках оказывались выше учтенной нами в расчетах средней величины, то нагрузка на водохранилище увеличивалась, если меньше, то в водохранилище проявлялся эффект разбавления.

Таким образом, рассчитанные балансы характеризуют суммарное влияние Иваньковского водохранилища на сток химических веществ рек Волги и Тверцы. Для количественной оценки этого влияния



Рис. 1. Схема Иваньковского водохранилища (треугольниками показаны пункты отбора проб воды)

Fig. 1. Schematic map of the Ivankovo reservoir (triangles show water sampling points)

нами использовалась величина относительного баланса (удерживающая способность водохранилища), представляющая собой отношение результирующей баланса к величине притока.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные расчеты баланса веществ за многолетний период дают полное представление о характере изменений качества воды и величины химического стока под влиянием водохранилища.

Таблица

**Среднегодовое (1958–2004) значения составляющих годовых балансов
химических веществ в Иваньковском водохранилище**

Составляющая баланса	Аммонийный азот	Нитраты	Фосфаты	Железо общее	Марганец	Органическое вещество (по ПО)
Поступление, т	3317	11453	1047	3065	920	112548
Сброс, т	2829	8744	879	2002	881	88639
Баланс, т	487	2710	168	1062	39	23810
Относительный баланс, %	15	24	16	35	4	21

Результаты расчета среднегодовых составляющих баланса химических веществ (показателей качества воды) представлены в таблице.

Анализ баланса химических веществ показывает, что в результате внутриводоемных процессов в условиях замедления речного стока в Иваньковском водохранилище ниже створа р. Волги у Твери происходит уменьшение концентраций рассмотренных показателей и стока химических веществ. Большин-

ство расчетных лет характеризуется положительной разницей притока и стока веществ. Учитывая, что боковые притоки водохранилища (все притоки, кроме Волги и Тверцы) дают не более 20% приходной составляющей водного баланса, можно предположить, что на химический сток Волги и Тверцы в условиях замедления водообмена заметное влияние оказывают внутриводоемные процессы трансформации химических веществ. Полученное нами сни-

жение величины химического стока согласуется с результатами расчетов баланса химических веществ в других водохранилищах Волжского каскада [Авакян и др., 1994; Даценко, 2002; Зимина, Законнов, 1982; Разгулин и др., 1982]. Относительно велико влияние водохранилища на концентрацию типично неконсервативного показателя – величины содержания общего железа. Его накопление в донных отложениях (в условиях замедленного водообмена) связано с переходом этого элемента из растворимой (закисной) формы в малорастворимую (окисную) с последующей седиментацией.

В водохранилищах Волжской системы водоснабжения г. Москвы наблюдается снижение стока органического вещества в результате внутриводоемных процессов окисления [Даценко, 2009; Соколов, 2013]. Однако в Иваньковском водохранилище приток высокоцветных вод рек Орша и Созь, дренирующих крупное торфоместорождение Васильевский Мох, заметно нивелирует это снижение, и среднесезонные значения перманганатной окисляемости в створе Городни на входе водохранилища и в створе первой паромной переправы различаются незначительно. Сравнительно небольшое влияние водохранилища оказывает на трансформацию стока фосфатов и аммонийного азота. Для этих веществ в отдельные годы отмечалось превышение выноса над притоком. Нитратов из водохранилища выносятся обычно меньше, чем поступает. Этот результат противоречит сложившимся представлениям о влиянии замедления водообмена на сток азотных соединений. Так, в Учинском водохранилище этого же Волжского источника московского водоснабжения наблюдается обратная картина – при значительном снижении концентраций аммонийного азота количество нитратов в сбросе из водохранилища увеличивается. Учинское водохранилище относится к наливным водоемам слабого водообмена, и значительное время пребывания воды в нем при сравнительно небольшом притоке способствует более глубокому проявлению внутриводоемных процессов нитрификации аммонийного азота и увеличению нитратов [Даценко, 2007]. При небольшом периоде водообмена Иваньковского водохранилища увеличение нитратной формы азота за счет окисления аммонийной формы не компенсирует приток нитратов, в результате в большинстве расчетных лет доминирует их положительный баланс. Отмеченное в Иваньковском водохранилище сравнительно небольшое снижение концентраций аммонийного азота может быть связано с наличи-

ем его внутренних источников, например, с влиянием донных отложений, а также сточных вод Твери, Конаково и других населенных пунктов.

Анализ факторов, определяющих особенности влияния водохранилища на химический сток в отдельные годы, показал, что относительный баланс веществ в Иваньковском водохранилище является функцией интенсивности его водообмена. В рассматриваемый период средние годовые коэффициенты водообмена, рассчитанные по притоку (отношение годового поступления воды в водохранилище к его объему), колебались в пределах от 3,9 до 13,6 год⁻¹.

Увеличение проточности водохранилища в многоводные годы, как правило, связано с повышенным притоком химических веществ с водосбора, и величина их относительного баланса увеличивается. Это проявляется в существовании прямых линейных связей между величиной относительного баланса и коэффициентом водообмена водохранилища. Пример такой зависимости для фосфатов представлен на рис. 2.

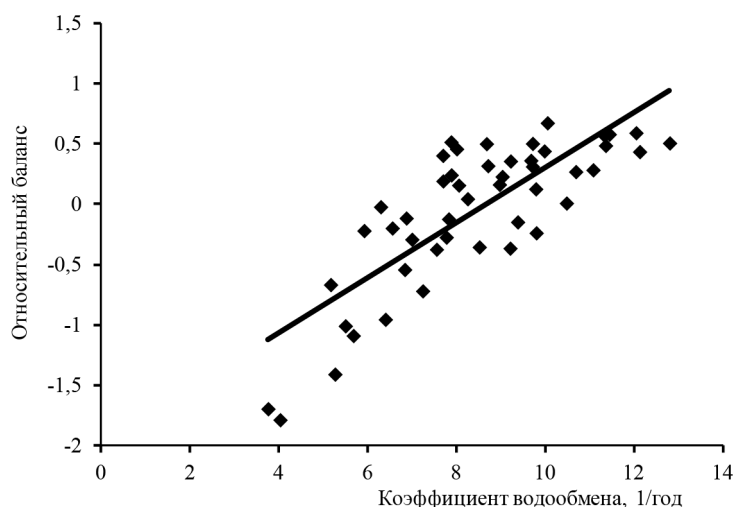


Рис. 2. Зависимость относительного баланса фосфатов от коэффициента водообмена Иваньковского водохранилища

Fig. 2. Dependence of the relative balance of phosphates on the water exchange coefficient of the Ivankovo reservoir

Прямые зависимости относительных балансов от коэффициента водообмена отмечены для всех рассмотренных показателей качества воды, коэффициенты корреляции которых составляют 0,67 для аммонийного иона, 0,69 для нитратов и железа, 0,71 для марганца, 0,75 для органического вещества и 0,78 для фосфатов (при 5%-м уровне значимости).

В водохранилищах сезонного регулирования стока, к которым относится Иваньковское, при высокой проточности фактор увеличения химической нагрузки имеет большее значение, а за короткое вре-

мя пребывания воды в водохранилище внутриводоемные процессы не успевают обеспечивать существенную трансформацию веществ и снижение их концентраций, как в водохранилищах, характеризующихся низкими значениями коэффициента водообмена. Кроме того, учитывая положение створов мониторинга, в которых проводились расчеты баланса, существенным внутренним источником химических веществ в Иваньковском водохранилище могут служить сточные воды городов, расположенных на его берегах. В первую очередь это относится к самому крупному источнику загрязнений – сточным водам Твери, которые сбрасываются в Иваньковское водохранилище ниже створа наблюдений. Сопоставление средневзвешенных по расходам воды значений концентраций показателей в реках Волга и Тверца с наблюдениями ниже пункта сброса сточных вод города (в пункте п. Городня) показывает, что наибольшее влияние сточные воды оказывают на изменение концентраций аммонийного азота. Высокие концентрации в коммунальных сточных водах резко увеличивают его содержание в воде водохранилища. В пункте наблюдений ниже сброса сточных вод среднесуточные концентрации аммонийного азота в 1,5 раза превышают его содержание в Волге. Это, по-видимому, одна из главных причин отмеченного ранее по балансовым расчетам сравнительно небольшого влияния водохранилища на сток аммонийного азота, поскольку Тверь представляет собой крупный источник его поступления. Влияние процесса нитрификации этой формы минерального азота, поступающего в него не только с водосбора Верхней Волги, но и с загрязнениями сточных вод Твери и других городов и населенных пунктов на Иваньковском водохранилище, оказывается недостаточным, чтобы существенно снизить концентрации аммонийного азота в водохранилище и обеспечить высокие значения положительного баланса этой формы азота, как, например, в Учинском водохранилище [Даценко, 2007]. Заметное влияние сточных вод на баланс веществ в водохранилище характерно также для фосфатов, характеризующихся, как и аммонийный ион, повышенными концентрациями в сточных водах. Для остальных рассмотренных показателей влияние города на качество воды водохранилища малозначимо.

Для аммонийного азота и фосфатов степень влияния сточных вод города определяется водностью года и заметно усиливается в годы с низким стоком в результате снижения степени разбавления

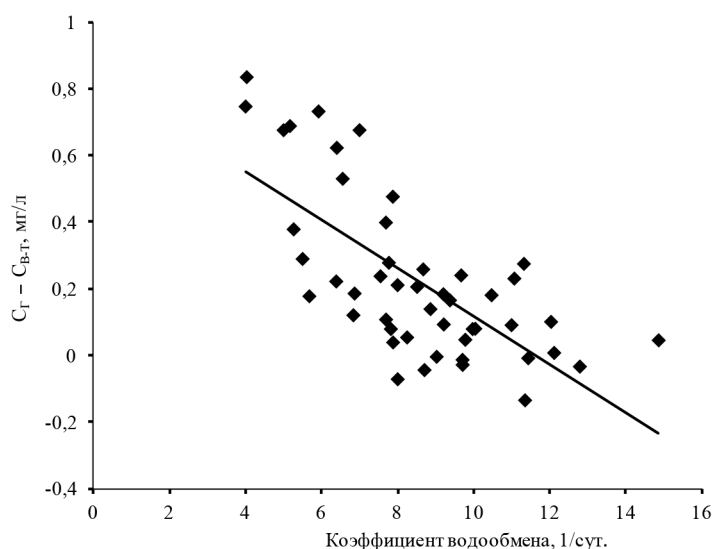


Рис. 3. Зависимость разницы концентраций аммонийного иона в пунктах выше и ниже сброса сточных вод г. Твери от коэффициента водообмена

Fig. 3. Dependence of the difference in ammonium ion concentrations in the points upstream and downstream the Tver city wastewater discharge on the water exchange coefficient

загрязнений речными водами. Это подтверждается существованием значимой связи между разницей концентраций загрязнений в р. Волге до (средняя концентрация в Волге и Тверце – C_{B-T}) и после (C_T) сброса сточных вод с коэффициентом водообмена, пример которой для аммонийного азота приведен на рис. 3.

ВЫВОДЫ

Регулирование стока Верхней Волги Иваньковским водохранилищем способствует улучшению качества воды Волжского источника водоснабжения г. Москвы путем снижения величины стока химических веществ. Для рассмотренных показателей качества воды среднесуточные годовые балансы веществ имеют положительные значения, величина которых зависит от водности года. Установленные статистические зависимости баланса веществ в Иваньковском водохранилище от коэффициента водообмена водохранилища характеризуются коэффициентами корреляции от 0,67 для аммонийного иона до 0,78 для фосфатов. В годы повышенной водности увеличиваются относительные балансы химических веществ в водохранилище. Влияние сточных вод Твери на качество воды Иваньковского водохранилища наиболее заметно проявляется для аммонийного азота и фосфатов.

Установленные зависимости носят общий характер, поэтому есть все основания полагать, что и в современных условиях изменение интенсивности водообмена водохранилища в годы с различной водностью

будет оказывать доминирующее влияние на трансформацию химического стока Волги и Тверцы. Изменения химической нагрузки, связанные с антропогенным

влиянием, в современных условиях могут несколько изменить количественные оценки величины трансформации химического стока и качества воды.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 20-17-00209.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авакян А.Б., Кочарян А.Г., Майрановский Ф.Г. Влияние водохранилищ на трансформацию химического стока рек // Водные ресурсы. 1994. № 2. С. 144–153.
- Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 292 с.
- Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.
- Даценко Ю.С. Оценка влияния каскада волжских водохранилищ на среднесуточный вынос фосфора в Каспий // Водные ресурсы. 2002. № 6. С. 636–638.
- Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 221 с.
- Даценко Ю.С. Трансформация стока и состава органического вещества в Волжской системе водоснабжения г. Москвы // Водное хозяйство России. 2009. № 2. С. 27–34.
- Даценко Ю.С., Эдельштейн К.К. Регулирование стока и обеспечение населения питьевой водой // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. М.: Изд-во МГУ, 1999. Вып. 2. С. 253–269.
- Зиминова Н.А., Законнов В.В. Аккумуляция биогенных веществ в донных отложениях водохранилищ Верхней Волги / Гидрохимические исследования волжских водохранилищ. Рыбинск, 1982. С. 62–67.
- Иваньковское водохранилище и его жизнь. М.: Наука, 1978. 304 с.
- Иваньковское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны. М.: Наука, 2000. 344 с.
- От истока до Москвы. М.: Прима-Пресс, 1999. 312 с.
- Порядин Л.Д. Водоснабжение больших городов – некоторые особенности дальнейшего развития // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 3-2. С. 68–73.
- Разгулин С.М., Гапеева М.В., Литвинов А.С. Баланс биогенных веществ в Рыбинском водохранилище // Труды ИБВВ АН СССР. 1982. Вып. 50(53). С. 81–92.
- Соколов Д.И. Влияние водохранилищ на изменение окисляемости и цветности речной воды (на примере источников водоснабжения г. Москвы): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2013. 25 с.
- Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.

Поступила в редакцию 19.11.2020

После доработки 12.02.2021

Принята к публикации 18.03.2021

INFLUENCE OF THE IVANKOVO RESERVOIR ON THE QUALITY OF THE VOLGA WATER SUPPLY SOURCE FOR MOSCOW

Yu.S. Datsenko

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology,
Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: yuri0548@mail.ru*

The article analyzes the results of 1958–2004 regular long-term monitoring of water quality of the Ivankovo reservoir, the principal reservoir of the Volga water supply system for Moscow. The annual balances of ammonium ion, nitrates, phosphates, total iron, manganese, and organic matter (in terms of the permanganate oxidability index) were calculated for the observation period using data on water flow rates in the main tributaries of the reservoir, i.e. the Volga and Tvertsa rivers. Long-term fluctuations of the relative balances of chemicals in reservoirs are analyzed; the balances are calculated by the difference between the inflow and discharge of chemicals. The calculations show that under the slower river flow the concentrations and the flow of chemicals decrease in the Ivankovo reservoir downstream the Volga River section near Tver as a result of intra-reservoir processes. Significant statistical dependences of the relative balances of chemicals in the reservoir on the coefficient of its water exchange by the inflow were established, which show high correlation coefficients i.e. 0.67 for the ammonium ion, 0.69 for nitrates and iron, 0.71 for manganese, 0.75 for organic matter, and 0.78 for phosphates (at the 5% significance level). With a short period of water exchange in the Ivankovo reservoir, an increase in the nitrate forms of nitrogen due to the oxidation of the ammonium form does not compensate the influx of nitrates. As a result, there is a positive difference in the inflow and runoff of nitrates for the most of

years under calculation. Relatively small decrease in the concentrations of ammonium nitrogen is due to its internal sources, and also wastewater from Tver, Konakovo and other localities. Specific features of organic matter transformation in the Ivankovo reservoir are revealed. The inflow of high-colored waters of the Orsha and Soz rivers draining the large Vasilyevsky Moh peat-deposit significantly smooth the decrease in organic matter content in the reservoir under the influence of intra-reservoir processes. Thus the average long-term values of permanganate oxidability for the Gorodnya section at the reservoir entrance and for the first ferry crossing section differ just slightly. Influence of waste water of the Tver city was evaluated by comparing the concentrations of pollutants upstream and downstream the municipal wastewater discharge point. It is shown that the degree of the influence depends on water amount of the year and significantly increases in the years with low runoff as a result of poorer dilution of pollutants by river water.

Keywords: chemical balance, water exchange coefficient, waste water, water amount of the year, intra-reservoir processes

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Science Foundation (projects No 20-17-00209).

REFERENCES

- Avakyan A.B., Kocharyan A.G., Mairanovsky F.G. Vliyanie vodohranilish na transformatsiyu himicheskogo stoka rek. [The impact of reservoirs on the transformation of chemical runoff], *Vodnye resursy*, 1994, no. 2, p. 144–153. (In Russian)
- Danilov-Danilian V.I., Losev K.S. *Potreblenie vody: ekologicheskij, ekonomicheskij, sotsialnyj i politicheskij aspekty* [Water consumption: environmental, economic, social and political aspects], Moscow, Nauka Publ., 2006, 221 p. (In Russian)
- Datsenko Y.S. Transformatsiya stoka i sostava organicheskogo veshchestva v Volzhskoj sisteme vodosnabzheniya g. Moskvy [Transformation of runoff and organic matter composition in the Volga water supply system of Moscow], *Vodnoe hozyaistvo Rossii*, 2009, no. 2, p. 27–34. (In Russian)
- Datsenko Y.S. *Evtrofirovaniye vodohranilish. Gidrologo-gidrohimitskie aspekty* [Eutrophication of reservoirs. Hydrological and hydrochemical aspects], Moscow, GEOS Publ., 2007, 221 p. (In Russian)
- Datsenko Y.S. Otsenka vliyaniya kaskada volzhskih vodohranilish na srednemnogoletnij vynos fosfora v Kaspii [Assessment of the impact of the Volga River reservoir cascade on the average long-term removal of phosphorus to the Caspian Sea], *Vodnye resursy*, 2002, no. 2, p. 144–153. (In Russian)
- Datsenko Y.S., Edelstein K.K. [Regulation of runoff and provision of drinking water to the population], *Problemy gidrologii i gidroecologii* [Problems of hydrology and hydroecology], Moscow, MSU Publ., 1999, vol. 2, p. 253–269. (In Russian)
- Edelstein K.K. *Vodohranilisha Rossii: ekologicheskiye problemy, puty ih resheniya* [Reservoirs of Russia: ecological problems, ways of their solution], Moscow, GEOS Publ., 1998, 277 p. (In Russian)
- Gidrometeorologicheskij rezhim ozer i vodohranilish SSSR. Vodohranilisha Verhnei Volgi* [Hydrometeorological regime of lakes and reservoirs of the USSR. Reservoirs of the Upper Volga River], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975, 150 p. (In Russian)
- Ivankovskoe vodohranilische i ego zhizn* [Ivankovo reservoir and its life], Moscow, Nauka Publ., 1978, 304 p. (In Russian)
- Ivankovskoe vodohranilische. Sovremennoe sostoyaniye i problemy ohrany* [Ivankovo reservoir. The current state and problems of protection], Moscow, Nauka Publ., 2000, 344 p. (In Russian)
- Ot istoka do Moskvy* [From the source to Moscow], Moscow, Prima-Press Publ., 1999, 312 p. (In Russian)
- Poryadin L.D. Vodosnabzhenie bolshih gorodov: nekotoryye osobennosti dalneishego razvitiya [Water supply of large cities – some features of further development], *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika*, 2013, no. 3, p. 68–73. (In Russian)
- Razgulin S.M., Gapeeva M.V., Litvinov A.S. [The balance of nutrients in the Rybinsk reservoir], *Trudy IBVV AN SSSR* [Proc. IBIW RAS], 1982, vol. 50(53), p. 81–92. (In Russian)
- Sokolov D.I. *Vliyaniye vodohranilish na izmeneniye oksilyaemosti i tsvetnosti rechnoi vody (na primere istochnikov vodosnabzheniya g. Moskvy)* [Influence of reservoirs on the changes in oxidability and color of river water (case study of water supply sources for Moscow)] Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Geography, Moscow, MGU Publ., 2013, 27 p. (In Russian)
- Ziminova N.A., Zakonov V.V. Accumulation of biogenic substances in the bottom sediments of the Upper Volga River reservoirs, *Gidrohimitskie issledovaniya volzhskih vodohranilish* [Hydrochemical studies of the Volga River reservoirs], Rybinsk, 1982, p. 62–67.

Received 19.11.2021

Revised 12.02.2021

Accepted 18.03.2021