

## БАЛАНСОВАЯ ОЦЕНКА РОЛИ БОКОВОЙ ПРИТОЧНОСТИ В ФОРМИРОВАНИИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОХРАНИЛИЩ ВОДРАЗДЕЛЬНОГО БЬЕФА КАНАЛА ИМ. МОСКВЫ<sup>1</sup>

© 2012 г. Ю. С. Даценко, М. Б. Заславская

*Московский государственный университет*

*119991 Москва ГСП-1, Ленинские горы*

Поступила в редакцию 24.08.2010 г.

Представлены результаты расчета химической нагрузки водохранилищ водораздельного бьефа канала им. Москвы по фосфатам, аммонийному иону, нитратам, хлоридам, органическому веществу по перманганатной окисляемости и БПК. Потоки веществ по боковым притокам сопоставлены с потоками по каналу, и по этому соотношению оценена сезонная изменчивость роли боковых притоков в формировании качества воды водохранилищ. Показано, что со снижением объемов перекачки волжской воды роль притоков возрастает.

*Ключевые слова:* водохранилище, качество воды, баланс химических веществ, биогенные и органические вещества.

В настоящее время водоснабжение практически всех крупных городов и урбанизированных комплексов мира базируется на использовании водных ресурсов поверхностных источников. Обеспечение гарантированных расходов воды на водоснабжение в этом случае достигается путем регулирования речного стока и создания водохранилищ, поэтому современные системы источников водоснабжения крупных городов представляют собой сложный комплекс гидротехнических сооружений, насосных станций, каналов, водохранилищ, участков естественных рек и располагаются на обширных территориях.

Более 70 лет назад созданием такого сложного комплекса в системе канала им. Москвы была решена задача долгосрочной перспективы водоснабжения г. Москвы волжской водой. Однако в отличие от успешно решенных проблем количества воды, вопросы качества воды источника водоснабжения постоянно привлекают внимание, поскольку колебания качества воды в широком диапазоне природных условий невозможно регулировать так, как количество. Особое значение имеют исследования процессов формирования и трансформации качества воды в небольших водохранилищах, входящих в систему канала им. Москвы (Икшинском, Пестовском, Пяловском, Клязьминском, Учинском), поскольку вода подается на станции водоподготовки непосредственно из водохранилищ.

Эти водохранилища (за исключением Учинского) имеют сопряженные бьефы и соединены каналами. В приходной части водного баланса водохранилищ доминирует перекачка воды из Ивановского водохранилища по каналу им. Москвы, обеспечивающая 86–94% общего прихода воды в годы различной водности [2]. Остальная часть прихода покрывается притоком с площади водосбора системы водохранилищ в основном за счет небольших рек, впадающих непосредственно в водохранилища (Клязьма, Уча, Вязь, Какотка, Катешка), в долинах которых эти водохранилища и созданы. Эти притоки можно рассматривать как боковые, поскольку основное водное питание водохранилищ осуществляется по каналу. Однако небольшие притоки этих водохранилищ имеют высоко освоенные в хозяйственном отношении водосборы, расположенные в густонаселенных районах Московской области, поэтому они испытывают значительные антропогенные нагрузки, и, соответственно, их роль в формировании качества воды более существенна, чем в водном балансе. Внешняя химическая нагрузка на водохранилища формируется как с потоком веществ по каналу, так и со стоком химических веществ рек бокового притока.

Цель настоящей работы оценить степень трансформации химического стока в водохранилищах водораздельного бьефа канала им. Москвы и значимость боковых притоков водохранилищ путем сопоставления потоков химических веществ в водохранилища с местными водосборов и из Ивановского водохранилища.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 09-02-00029 и 09-05-0039) и Госконтракта П1394.

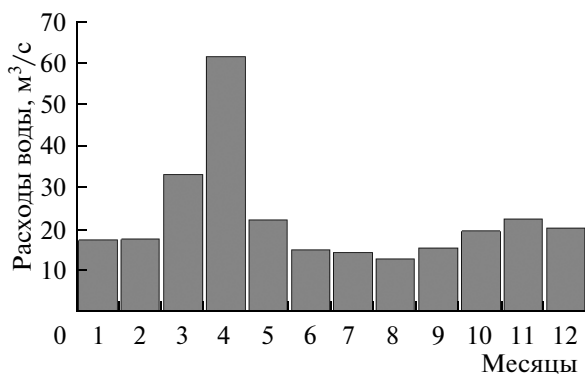


Рис. 1. Внутригодовые изменения суммарного бокового притока водохранилищ водораздельного бьефа.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основой для расчета послужили осуществляемые Мосводоканалом с 1986 г. регулярные (с частотой два раза в месяц) наблюдения за качеством воды в устьях притоков и в водохранилищах водораздельного бьефа.

В условиях отсутствия гидрологических наблюдений на притоках водный сток рек оценивался по модулю стока, определяемому по водному балансу водохранилищ водораздельного бьефа канала им. Москвы. Типовой график осредненных за 22-летний период (1984–2005 гг.) среднемесячных изменений расходов воды бокового притока водохранилищ водораздельного бьефа представлен на рис. 1. Средняя доля бокового притока в водном балансе водохранилищ составляет около 10%, при этом в апреле этот вклад достигает 35%. В этом месяце при регулировании стока канала им. Москвы заполнение водохранилищ после небольшой предзимней сработки уровня на треть осуществляется боковым притоком, поскольку перекачка воды из канала в этот период уменьшается. В конечном итоге это резко увеличивает долю поступления воды с боковыми притоками в период половодья.

Оценка водного стока и наблюдения за качеством воды позволили рассчитать сток химических веществ по следующим контролируемым показателям качества воды: хлориды, нитраты, аммоний-

ный азот, фосфаты, взвешенные вещества, органическое вещество по перманганатной окисляемости (ПО) и величине БПК<sub>5</sub>. Эти показатели в притоках канала значительно превышают фоновые значения, поскольку в формировании химического стока этой территории Московской области большую роль играет антропогенный фактор. Исключение составляет показатель стойких органических соединений (оцениваемый по значениям ПО), крайне слабо связанный с хозяйственным освоением водосборов, однако его включение в рассматриваемый перечень обусловлено чрезвычайно важным его значением для водоподготовки на станциях Волжского водоисточника. Для расчета использовались данные наблюдений за качеством воды в приустьевых створах рек Клязьма, Уча и Вязь за 1986–2001 гг. Среднемноголетние значения концентраций показателей в основных пунктах мониторинга качества воды представлены в табл. 1.

Расчитанные среднемесячные величины потоков веществ с боковым притоком  $R_{бок}$  сопоставлялись с их притоком из Ивановского водохранилища по каналу им. Москвы, который определялся по данным о расходах перекачки и контроля качества воды во входном створе водохранилищ водораздельного бьефа (шлюз № 6 канала)  $R_{кан}$ . Соотношение этих потоков веществ  $R_{бок}/R_{кан}$  позволяет оценить вклад боковых притоков в формирование качества воды водохранилищ в различные годы и различные сезоны.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Величины осредненных среднемесячных значений соотношений  $R_{бок}/R_{кан}$  за рассматриваемый период представлены на рис. 2. Как видно из графиков, в период половодья приток веществ с боковыми притоками в систему водохранилищ водораздельного бьефа резко повышается, а по фосфатам и аммонийному иону даже превосходит поступление рассматриваемых химических веществ с волжскими водами. Наиболее вероятная причина повышения концентраций химических веществ в водах притоков – интенсивный смыв загрязнений с территории бассейна в период таяния снега. Соответственно,

Таблица 1. Среднемноголетние концентрации, мг/л, показателей качества воды в притоках канала им. Москвы и в водохранилищах водораздельного бьефа

Пункт наблюдений	Хлориды	Аммонийный ион	Нитраты	Фосфаты	ПО	БПК <sub>5</sub>
Р. Уча–д. Федоскино	43.3	2.06	0.78	0.362	8.5	4.25
Р. Клязьма–д. Свистуха	38.2	1.58	2.84	0.443	7.0	3.23
Р. Вязь–д. Раково	14.8	0.80	1.68	0.298	6.4	2.25
Канал им. Москвы						
13 паромная переправа	7.5	0.34	1.30	0.096	1.6	1.64
Икша	8.1	0.35	1.41	0.154	1.6	1.55

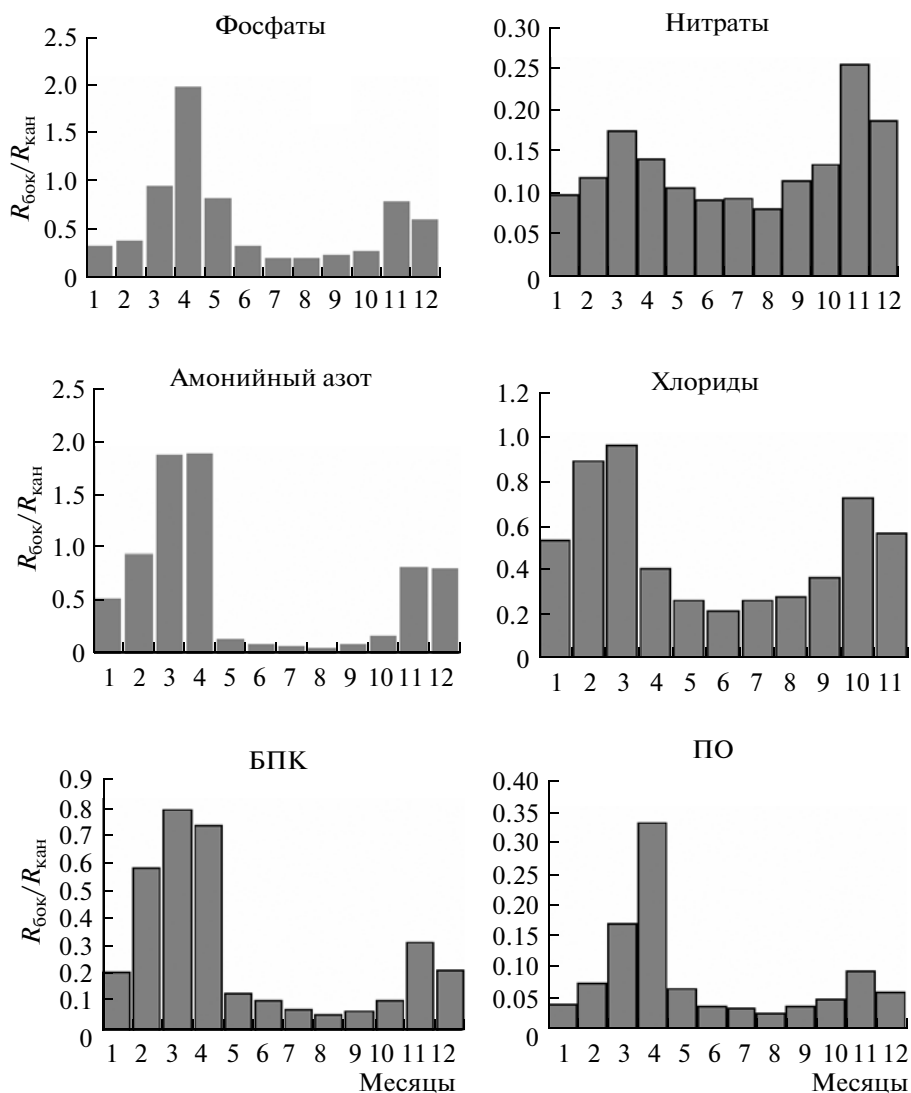
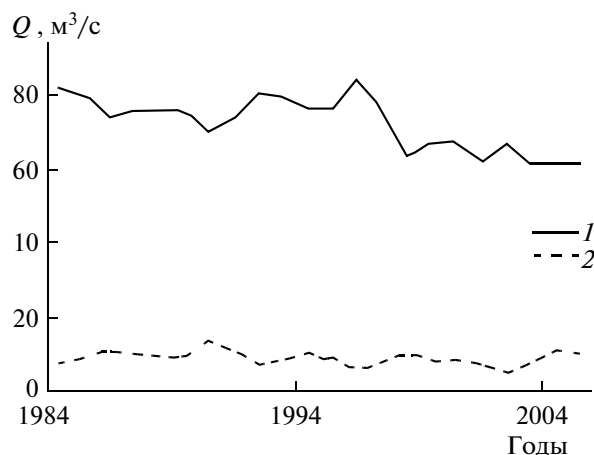


Рис. 2. Внутригодовое распределение соотношения притока с боковыми притоками с притоком по каналу химических веществ  $R_{бок}/R_{кан}$  в водохранилища водораздельного бьефа.

весной резко возрастает балансовый вклад притоков в формирование запаса химических веществ в водохранилищах водораздельного бьефа и, следовательно, в увеличение их содержания в воде на выходе из системы водоисточника (у водозаборов станций в Учинском и Клязьминском водохранилищах). Исключение составляют нитраты, максимум вклада которых наблюдается в ноябре. Соотношение рассматриваемых потоков достигает двухкратных значений для аммонийного азота и фосфатов именно в апреле. Неравномерность внутригодового распределения этого соотношения наиболее ярко проявляется для аммонийного азота – при максимуме двухкратного соотношения в апреле оно падает летом до нескольких десятых долей. Обращает на себя внимание высокий зимний вынос аммонийного азота, в то время как фосфаты относительно равномерно выносятся с притоками в водохранили-

ща во все сезоны, кроме весеннего. Это объясняется, по-видимому, более высокой скоростью трансформации соединений азота в летний период по сравнению с фосфатами, закономерности водной миграции которых отличаются от таковой для минеральных соединений азота.

В летний период роль боковых притоков в химическом балансе водохранилищ снижается для всех рассмотренных показателей, но если для нитратов она меньше апрельской всего в 2 раза, то для фосфатов и аммонийного азота эта разница становится 20-кратной. Летнее уменьшение долей вклада практически по всем показателям связано с уменьшением концентраций загрязнений в летний период. Это уменьшение не компенсируется снижением разбавления загрязнений при меженных расходах воды в реках. Понижение концентраций может быть обусловлено развитием продукционных процессов в

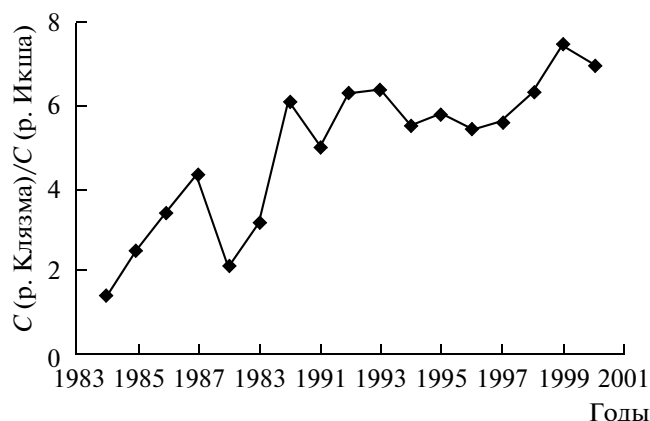


**Рис. 3.** Многолетние изменения боковой приточности водохранилищ водораздельного бьефа и расходов перекачки воды по каналу им. Москвы. 1 – перекачка по каналу, 2 – боковой приток.

реках, а также широким распространением высшей водной растительности в них, играющей для биогенных минеральных соединений роль естественного биофильтра. В зимний межень период соотношение потоков немного возрастает, а для нитратов и хлоридов становится соизмеримым с весенним вкладом. В зимний период вследствие низких температур заторможены процессы самоочищения, оказывающие заметное влияние на концентрацию органического вещества (ОВ) в природных водах, поэтому влияние притоков на формирование качества воды водохранилищ водораздельного бьефа в этот период выше, чем летом.

Для выявления роли отдельных притоков в формировании химического состава воды водохранилища средние значения показателей в притоках сопоставлялись со средними концентрациями этих же веществ в канале. Значения такого отношения больше единицы свидетельствуют об увеличении нагрузки водохранилищ по этому веществу в рассматриваемый период, а меньше единицы летом – указывают на разбавление вод Иваньковского водохранилища водами притоков водораздельного бьефа. Среднемесячные значения этих соотношений для трех наиболее значительных притоков водохранилищ водораздельного бьефа представлены в табл. 2.

Воды притоков водораздельного бьефа «разбавляют» только ОВ (по ПО), приносимое в канал с водами Иваньковского водохранилища. Это объясняется тем, что условия формирования стока ОВ в Московской области, где расположены бассейны притоков, резко отличаются от физико-географических условий бассейна Иваньковского водохранилища, характеризующегося высокой заболоченностью и наличием месторождений торфа. Концентрация стойких ОВ в притоках водохранилищ



**Рис. 4.** Многолетние изменения соотношений среднегодовых концентраций аммонийного иона в р. Клязьме и в воде канала им. Москвы (пункт Икша).

водораздельного бьефа значительно ниже, чем в водах Верхней Волги и Иваньковского водохранилища. Как видно из табл. 2, из трех рассмотренных рек наиболее чистая – Вязь (приток Пестовского водохранилища). Из рассмотренных притоков водосбор р. Вязи отличается наибольшей лесистостью и наименее застроен дачно-коттеджными поселками, что, видимо, и объясняет наименьшее содержание загрязняющих веществ в водах этого притока.

За последние годы произошли существенные изменения гидрологического режима водораздельного бьефа, связанные в большей степени не с гидрологическими факторами, а с изменением интенсивности эксплуатации его водных ресурсов. При сравнении пятилеток 2004–2008 и 1990–1994 гг. выявилось, что потребление воды на водоснабжение снизилось на 35%, обводнение рек – на 20, судоходство – на 14 (а по сравнению с 1980-ми гг. – на 30), перекачка волжской воды – на 27, внешний водообмен – на 30%. При этом межгодовые изменения боковой приточности происходили в соответствии с гидрометеорологическими условиями года без ярко выраженных тенденций. Колебания среднегодовых расходов воды суммарной боковой приточности и расходов перекачки по каналу за рассматриваемый период показаны на рис. 3.

В условиях снижения перекачки волжской воды роль боковых притоков водохранилищ водораздельного бьефа усиливается, а качество воды водохранилищ в соответствии с этим будет ухудшаться. Это подтверждается существованием четко выраженной тенденцией к увеличению в эти годы такого уже рассмотренного соотношения значений показателей в притоках и в канале. На рис. 4 для примера представлены изменения этого показателя по аммонийному иону для р. Клязьма.

Возможность вычисления внешних химических балансов для отдельных водохранилищ водораздельного бьефа ограничена имеющимися створами

**Таблица 2.** Сезонные изменения соотношений среднесезонных концентраций химических веществ в притоках водохранилищ водораздельного бьефа и в воде, перекачиваемой по каналу им. Москвы из Ивановского водохранилища

Месяцы	Хлориды	Аммонийный ион	Нитраты	Фосфаты	ПО	БПК <sub>5</sub>
р. Клязьма						
Январь	5.5	7.2	1.4	3.7	0.6	3.0
Февраль	6.7	12.6	1.4	3.6	0.9	8.4
Март	4.8	11.2	1.0	4.1	0.9	4.7
Апрель	3.4	7.4	0.5	5.7	1.1	2.9
Май	5.1	1.5	1.5	8.7	0.7	1.4
Июнь	4.8	1.5	1.8	5.4	0.6	1.8
Июль	4.1	0.9	1.9	3.4	0.6	1.1
Август	5.8	0.8	1.9	3.7	0.5	1.0
Сентябрь	4.8	1.0	2.0	3.4	0.6	1.0
Октябрь	4.9	1.7	1.9	3.5	0.6	1.3
Ноябрь	5.2	6.3	1.9	4.8	0.6	2.3
Декабрь	5.2	7.6	1.7	4.7	0.5	2.1
Среднее за год	5.0	5.0	1.6	4.6	0.7	2.6
р. Уча						
Январь	6.2	8.3	1.1	8.3	0.5	2.7
Февраль	6.1	9.7	1.1	7.8	0.6	3.5
Март	5.4	10.5	0.7	9.9	1.0	4.0
Апрель	4.0	7.6	0.5	14.1	1.4	2.0
Май	5.6	2.8	1.0	18.4	1.1	2.4
Июнь	5.4	1.7	1.3	8.0	0.8	2.7
Июль	4.7	1.5	1.6	6.0	0.7	1.9
Август	6.0	2.3	1.9	8.4	0.7	1.7
Сентябрь	5.6	3.3	2.4	8.2	0.6	1.7
Октябрь	6.0	4.3	2.1	5.9	0.8	2.1
Ноябрь	6.1	6.2	1.9	9.6	0.7	2.1
Декабрь	5.9	7.8	1.6	9.0	0.5	1.6
Среднее за год	5.6	5.5	1.4	9.5	0.8	2.4
р. Вязь						
Январь	2.7	2.9	0.9	2.1	0.4	1.2
Февраль	2.8	3.8	1.0	2.9	0.5	1.5
Март	3.2	3.0	0.8	3.3	0.6	1.8
Апрель	2.3	2.3	0.4	4.4	0.9	1.3
Май	2.9	1.0	0.4	5.4	0.6	1.3
Июнь	2.7	1.1	0.8	4.1	0.5	1.6
Июль	2.3	1.4	1.0	2.8	0.7	1.7
Август	3.1	1.1	1.0	2.7	0.6	1.1
Сентябрь	2.7	1.3	1.0	2.6	0.6	1.4
Октябрь	2.9	2.4	1.0	2.5	0.6	1.5
Ноябрь	2.6	2.6	1.0	3.0	0.6	1.4
Декабрь	2.3	3.3	1.1	2.5	0.4	0.9
Среднее за год	2.7	2.2	0.9	3.2	0.6	1.4

**Таблица 3.** Соотношение составляющих химического баланса, т, и коэффициентов удержания, %, для водохранилищ водораздельного бьефа в среднем за 1988–1992 гг.

Характеристики химического баланса	Водохранилище				
	Икшинское– Пестовское	Пяловское	Учинское	Клязьминское	Водораздельный бьеф
<b>Аммоний</b>					
сумма прихода	699	417	287	539	1058
сумма расхода	565	318	243	327	569
$K_Y$	19	24	15	39	46
<b>Нитраты</b>					
сумма прихода	824	409	387	463	1002
сумма расхода	747	329	390	434	824
$K_Y$	9	20	–1	6	18
<b>Фосфаты</b>					
сумма прихода	141	77	51	88	196
сумма расхода	105	56	47	55	115
$K_Y$	26	27	8	37	41
<b>ОВ по ПО</b>					
сумма прихода	27335	12349	12463	12948	29240
сумма расхода	24212	11641	11324	12318	23642
$K_Y$	11	6	9	5	19

наблюдений за качеством воды на их входных и замыкающих створах. Проведена оценка прихода и расхода веществ только для тех водохранилищ, где проводились соответствующие гидрохимические наблюдения – для Икшинского и Пестовского (суммарно), Пяловского, Клязьминского и в целом для всей системы водохранилищ водораздельного бьефа. Для расчета таких замкнутых химических балансов водохранилищ водораздельного бьефа использованы материалы регулярных наблюдений Мосводоканала за пятилетний период (1988–1992 гг.), что связано с наличием необходимых исходных материалов для всех водохранилищ системы только в этот интервал времени. Расчет годовых балансов проводился по среднемесячным величинам концентраций веществ в пунктах наблюдений на канале и водохранилищах по уравнению

$$R_B + R_B - R_{ПВ} - R_K - R_P = \Delta R,$$

где  $R_B$  – масса вещества, поступившая с перекаченной волжской водой;  $R_B$  – приток вещества с замыкающего водосборного бассейна;  $R_{ПВ}$  – масса вещества, ушедшая с забором воды на промышленное и питьевое водоснабжение;  $R_K$  – масса вещества, ушедшая из Клязьминского водохранилища по каналу;  $R_P$  – масса вещества, ушедшая со сбросом воды на санитарное обводнение рек, входящих в систему канала;  $\Delta R$  – аккумуляция вещества в водохранилищах водораздельного бьефа.

Замыкающее водохранилище системы водохранилищ водораздельного бьефа в данных расчетах –

Клязьминское, поскольку последняя точка наблюдений за качеством воды расположена на нем.

Трансформация химического стока водохранилищем определяется в основном снижением концентраций веществ в водохранилище, которое оценивалось коэффициентом удержания  $K_Y$  вещества в водоеме

$$K_Y = \frac{R_V - R_Y}{R_V},$$

где  $R_V$  – масса вещества, поступившего в водоем,  $R_Y$  – масса того же вещества, ушедшая со стоком из него за расчетный период.

Результаты расчетов химических балансов приведены в табл. 3.

Анализ годовых балансов для аммония, фосфатов за 1988–1992 гг. показал, что годовой коэффициент удержания аммонийного азота колеблется по водохранилищам от 15 до 39, а фосфатов от 8 до 37%. В качестве главной причины положительного баланса аммонийного азота и фосфатов выступают благоприятные условия окисления, возникающие в водохранилище, а также поглощение их фитопланктоном с последующим переходом в состав донных осадков [1]. Наименьшие значения коэффициента удержания характерны для нитратов, а в Учинском водохранилище баланс нитратов оказался даже отрицательным (–1%), что говорит о доминировании условий окисления азота в водохранилище. Коэффициент удержания ОВ (по ПО) не-

большой (5–19%), что объясняется стойкостью гуминовых соединений к биохимическому окислению. Из системы Икшинского–Пестовского водохранилищ поток химических веществ примерно в равных долях распределяется по двум основным направлениям: в Учинское и по каналу в Пяловское водохранилища.

### ВЫВОДЫ

Вклад боковых притоков в формирование качества воды водохранилищ водораздельного бьефа максимален в период половодья в марте–апреле. В этот период поток фосфатов и аммонийного иона с боковыми притоками превышает их поток с перекачкой по каналу волжской воды почти в два раза. По этим же показателям степень превышения отношения химических потоков к водным достигает 10-кратных значений. С уменьшением объемов

перекачки воды по каналу в последнее десятилетие наметилась тенденция увеличения роли притоков водохранилищ водораздельного бьефа в процессах формирования качества воды. Трансформация химического стока в водохранилищах водораздельного бьефа проявляется в положительном балансе большинства рассмотренных веществ – показателей качества воды. Максимальные значения коэффициента удержания характерны для фосфатов и аммонийного иона, а для нитратов отмечены отрицательные балансы в отдельные годы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. М.: ГЕОС, 2007. 251 с.
2. Канал имени Москвы: 50 лет эксплуатации / Под ред. Быкова В.Д., Матросова А.С. М.: Стройиздат, 1987. 240 с.