

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.048

### К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА МОСКВОРЕЦКО-ВАЗУЗСКОЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ<sup>1</sup>

© 2022 г. М. В. Болгов<sup>а</sup>, И. А. Филиппова<sup>а, \*</sup>, Е. А. Коробкина<sup>а</sup>, М. А. Харламов<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

\*e-mail: irinafil@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.10.2021 г.

После доработки 21.02.2022 г.

Принята к публикации 29.03.2022 г.

Рассмотрена проблема влияния изменений климата на водные ресурсы и функционирование системы водоснабжения Московского региона. Проанализированы данные о притоке к основной части водохозяйственной системы региона – Москворецко-Вазузской гидротехнической системе (МВГС). Результаты имитационного моделирования показали, что на фоне произошедших изменений в характере притока к водохранилищам МВГС управление системой водоснабжения в целом можно считать более эффективным по сравнению с периодом до 1978 г. Для Вазузской гидротехнической системы как отдельного компонента МВГС показатели эффективности не улучшились. Анализ изменений эксплуатационных характеристик показал необходимость их учета в управленческой стратегии для всей системы МВГС.

*Ключевые слова:* водохозяйственные системы, климатические изменения, нестационарность, регулирование стока, Москворецкая система водохранилищ, Вазузская гидротехническая система.

DOI: 10.31857/S0321059622060037

#### ВВЕДЕНИЕ

Проектирование и эксплуатация любого гидротехнического сооружения, в том числе системы водохранилищ, в первую очередь предполагает эффективное и оптимальное его использование с минимальными ущербами для экономики и окружающей среды. Экономическая эффективность функционирования гидротехнического сооружения заключается в максимизации прибыли от его работы и минимизации затрат и связана непосредственно с качеством управления. Очевидно также, что эффективность использования речного стока при регулировании его водохранилищами зависит от прогноза (знания) колебания водности используемых рек. Чем точнее прогноз стока на конкретный год и сезон, тем эффективнее можно планировать режим водохозяйственных установок с учетом ожидаемой водности года. Кроме того, возникающие в процессе эксплуатации риски планирования и управления (например, негативное воздействие на окружающую среду, прорывы плотины и наводнения ниже по течению) также в значительной мере обусловле-

ны гидрологическими характеристиками водного объекта и водосборного бассейна.

Управление водными ресурсами речных бассейнов и системой водохранилищ – многокритериальная многофакторная задача. Методические подходы к водохозяйственным расчетам совершенствовались вместе с развитием водохозяйственных систем от простейших методов балансовых расчетов к сложным вероятностным методам благодаря интенсивному гидротехническому (водохозяйственному) строительству. Параллельно совершенствовались и другие направления водохозяйственных расчетов (установление эксплуатационных режимов водохранилищ, диспетчерские правила управления водохранилищ). Многообразие типов применяемых математических моделей обусловлено масштабами объекта, характером поступающей информации, особенностями природных процессов и управления (стохастические и детерминированные модели), алгоритмом воспроизведения состояния системы в заданном временном интервале и получения конечного результата (имитационные и оптимизационные модели), наличием или отсутствием временных трендов (стационарные и нестационарные модели) [4].

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема FMWZ-2022-0001, государственная регистрация 122041100222-7).

Одна из проблем гидрологии в меняющемся мире — изменения структуры многолетних колебаний стока [15]. Важность оценки воздействия этих изменений, зафиксированных и исследованных на конкретном водосборе, на управление гидротехническими сооружениями несомненна. Вопросы адаптации систем управления водными ресурсами — ключевые в национальных стратегиях адаптации к изменениям климата большинства стран в силу большой социальной и экономической значимости водных ресурсов и одновременно их уязвимости. Надо заметить, что понятие адаптации управления водными ресурсами к изменению климата предполагает отказ от гипотезы стационарности, на которой базировалась теория управления водными ресурсами [14], и смену парадигмы гидрологических и водохозяйственных расчетов для планируемых адаптационных решений.

В зарубежной практике есть две основные точки зрения на оценку климатических рисков для разработки стратегий адаптации [17]. Это так называемые нисходящий, или сценарный (“top-down”), и восходящий (“bottom-up”) подходы. Нисходящий подход включает в себя в первую очередь переход от глобального масштаба к региональному путем даунскейлинга климатических проекций при различных сценариях выбросов парниковых газов. Полученные региональные сценарии используются затем в соответствующих моделях для оценки воздействия изменений климата на гидрологические процессы, вероятности возникновения опасных явлений (наводнения, засухи) и их последствий. При этом риск адаптационных мероприятий оценивается с экономической точки зрения и учитывает вероятность возникновения опасных гидрологических явлений и уязвимость в виде стоимости ущерба. Восходящий подход направлен на снижение уязвимости к прошлой и нынешней изменчивости климата, как правило, после экстремального события или стихийного бедствия. Этот метод не зависит от сценариев изменения климата, и потому необходимы достаточно продолжительные наблюдения для оценки масштабов и частоты экстремальных явлений.

Оба подхода используются и в практике управления гидротехническими сооружениями для определения приоритетности мер по снижению рисков эксплуатации [9]. Нисходящий метод определяет наиболее выгодную (экономичную) стратегию управления и используется в том числе и для оценки влияния будущих изменений климата на управление водохранилищами. Поскольку в качестве исходной информации при таком подходе используются результаты расчетов по глобальным климатическим моделям (осадки и сток), то решения, как правило, получаются экономически затратными [16]. Восходящий метод предла-

гает в первую очередь выполнить моделирование реакции природно-социальной системы “водохранилище” на экстремальные природные события. Фактически исследование начинается с факторов и условий формирования стока на конкретном водосборе, с региональных климатических изменений, а также с особенностей проектирования исследуемой водохозяйственной системы и управления ею, что позволит успешно справляться с гидрологическими экстремальными явлениями [17]. Суть метода заключается в анализе текущей ситуации и оценке возможностей справиться с последствиями изменения климата без экономически затратных решений для смягчения последствий прогнозируемых явлений. Таким образом, второй подход оценивает риски управления на основе реальной ситуации на водосборе, а не на ее прогнозах. Отличительная и выгодная особенность метода “bottom-up” состоит в том, что информация, характеризующаяся большой неопределенностью, используется в конце цепочки моделирования, а на первый план выдвигаются наблюдаемые явления.

Несмотря на то, что оба способа оценки связаны с неопределенностями, предпочтение отдается подходу, основанному на результатах моделирования по вероятным сценариям изменения климата. Однако не стоит забывать о важности его альтернативы [12], направленной на повышение устойчивости водохозяйственных систем без экономически затратных решений. Особенно важен такой подход для стран с высокой уязвимостью территорий к наводнениям и засухам, но при этом с ограниченными экономическими ресурсами [11, 13]. Необходимость применения такого подхода в рамках имитационного моделирования отмечается в работах [7, 8].

Климатические изменения за последние 40 лет привели к внутригодовому перераспределению стока на большинстве рек Европейской части России. Гидрологические характеристики половодья и межени относятся к параметрам, влияющим на эффективность управления водохранилищами, непосредственно определяя гарантированную водоотдачу системы. Соответственно, их изменения повлияли и на эффективность работы водохранилищ на этой территории. Особенно актуальны эти изменения для работы системы питьевых водохранилищ Московского региона, где водные ресурсы ограничены и испытывают заметную антропогенную нагрузку. Изменения водного режима рек, вызванные потеплением климата, вынуждают пересматривать подходы к управлению водными ресурсами для обеспечения таких крупных потребителей воды, как г. Москва [3]. Надежная эксплуатация и необходимое, в случае роста водопотребления в мегаполисе, увеличение гарантированной водоотдачи Москворецко-Вазузской системы водохранилищ

возможны только на основе оптимизации правил эксплуатации всей системы в целом.

Цель работы – продемонстрировать влияние гидролого-климатических изменений на функционирование системы водоснабжения Московского региона и оценить эффективность регулирования стока на основе имитационного моделирования работы системы с учетом изменившихся гидрологических характеристик; анализ среднего годового притока к водохранилищам Москворецко-Вазузской гидротехнической системы (МВГС) – значимому компоненту водохозяйственной системы региона; изучение изменения режима притока за водохозяйственные интервалы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### *Объект исследований*

В настоящее время Московский мегаполис обеспечивается водой в основном за счет поверхностного стока рек Москвы и Волги. Технически это обеспечивают взаимосвязанные между собой Москворецкая водная система, Волжская водная система и Вазузская гидротехническая система. Вазузская гидротехническая система осуществляет регулирование и переброску стока из бассейна р. Вазузы в бассейн р. Москвы.

Водосборная территория МВГС расположена в западной части бассейна Волги и охватывает бассейны рек Москвы и Вазузы с их притоками. Общая площадь водосбора МВГС составляет 14500 км<sup>2</sup>.

Сток р. Москвы и ее притоков регулируется водохранилищами Москворецкой водной системы (МВС) – Истринским, Можайским, Рузским и Озернинским, вода из которых поступает по р. Москве к Рублевскому гидроузлу. Кроме того, к Рублевскому гидроузлу поступает часть стока р. Вазузы (притока р. Волги), зарегулированного Вазузским и Яузским водохранилищами Вазузской гидротехнической системы (ВГС). Эти водохранилища осуществляют многолетнее регулирование стока р. Вазузы и работают в режиме компенсированного регулирования стока боковой приточности р. Москвы между МВС, с одной стороны, и Рублевским гидроузлом – с другой стороны. Водные ресурсы водохранилищ МВГС используются для водообеспечения г. Москвы и, кроме того, для нужд местных потребителей и санитарных попусков в нижние бьефы гидроузлов.

### *Материалы и методы*

В качестве исходной информации использованы данные о притоке к МВГС за период наблюдений 1914–2018 гг. с шести водосборных участков – бассейнов Истринского, Можайского, Рузского,

Озернинского, Вазузского водохранилищ и незарегулированной части водосбора. Поскольку Яузское и Верхнерузское водохранилища не оказывают существенного влияния на функционирование МВГС, то они не обсуждаются. Данные о притоке представляют собой ряды среднедекадных и среднемесячных расходов воды, наблюдаемых до строительства водохранилищ и ретрансформированных (приведенных к естественным условиям) – после строительства. Данные предоставлены АО “Институт Гидропроект” и ОАО “Мосводоканал” для научных исследований.

Методически работа базируется на имитационном моделировании совместного функционирования водохранилищ системы по действующим правилам использования водных ресурсов с обеспечением заданного уровня гарантированной отдачи [1]. При этом в качестве притока к водохранилищам используются фактические ряды притока, отражающие особенности гидрологического режима в условиях климатических изменений на водосборе.

Таким образом, используемая в работе имитационная модель водохозяйственной системы включает в себя два основных блока: блок регулирования на основе диспетчерских правил управления и блок статистической обработки результатов имитационных расчетов.

Важная особенность подхода к оценке эффективности регулирования водохозяйственной системы в современных климатических условиях – принятие гипотезы нестационарности для гидрологических и водохозяйственных расчетов [2, 10]. Временные ряды исходных данных притока к водохранилищам МВГС разделены на две части в точке перехода из одного стационарного состояния в другое. Статистический анализ и имитационное моделирование работы водохозяйственной системы проводились для этих частей отдельно.

Для оценки эффективности регулирования стока использовались показатели надежности и устойчивости эксплуатации водохранилищ, характеризующие обеспеченность водоотдачи – вероятность бесперебойных интервалов и бесперебойных лет, а также распределение дефицитов объема полезной емкости водохранилищ при сохранении гарантированной отдачи.

Влияние климатических изменений на эффективность регулирования в современных климатических условиях оценивалось путем сравнения этих показателей в каждом стационарном периоде с помощью VoxPlot-диаграмм. Такая форма представления результатов дает возможность графического представления основных параметров распределения исследуемого ряда. Диаграмма отображает значения среднего, квартилей, разброс данных и наличие выбросов, а также позво-

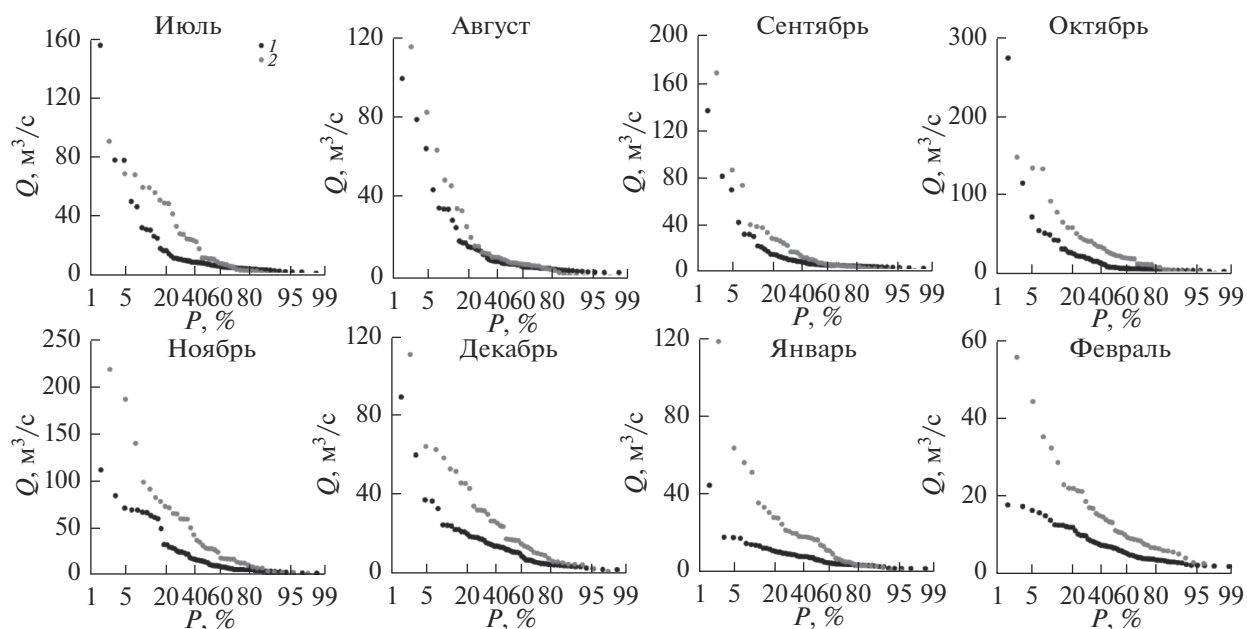


Рис. 1. Кривые обеспеченности среднего месячного притока в межень к Вазузскому водохранилищу за два временных периода: 1 – до 1978 г., 2 – с 1978 г.

ляет оценить, насколько асимметрично распределение изучаемой характеристики.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ временных рядов притока к водохранилищам МВГС за различные периоды времени (год, месяц и декада) статистическими методами показал, что гипотеза стационарности не выполняется для большинства из них [5]. Такая же закономерность выявлена для многолетних рядов расходов воды за лимитирующие и нелимитирующие периоды. Это позволило принять для всех нестационарных рядов 1978 г. за дату перехода в новое условно стационарное состояние; соответственно, период наблюдений до 1978 г. принят за базовый, а период наблюдений с 1979 г. – за текущий.

Изменение внутригодового распределения притока к Вазузскому водохранилищу повторяет тренд, выявленный для всех водохранилищ МВС [3]. Увеличение притока наблюдается в период зимней и летней межени, уменьшение притока – в период половодья. На рис. 1 представлены кривые обеспеченности среднего месячного притока в межень к Вазузскому водохранилищу за два условно стационарных периода. Сравнение этих кривых показывает, что в зоне малых обеспеченностей ( $\leq 50\%$ ) сток существенно увеличился.

Анализ изменений стока относительно периода до 1978 г. показал, что наибольшие изменения наблюдаются в зимнюю межень. Среднее увеличивается в  $\sim 2$  раза, дисперсия – в  $\geq 2$  раз (до 3.5 в январе) с незначительным увеличением  $C_v$ .

Имитационное моделирование совместного функционирования водохранилищ МВГС выполнялось по действующим правилам использования водных ресурсов [6]. Регулирование стока ВГС осуществляется в компенсационном режиме, т. е. при необходимости дополняет возможности регулирования стока Москворецкой системой водохранилищ. Характеристики режима работы МВГС получены при имитационном моделировании регулирования стока на гарантированную отдачу 95%-й обеспеченности: для ВГС – 19, для МВС – 33 м<sup>3</sup>/с. Климатические изменения учтены непосредственно путем использования однородных (стационарных) фрагментов наблюдаемых рядов притока к водохранилищам в имитационной модели. В данном случае в качестве таких фрагментов использовались фактические величины притока в соответствии с датой смены гидрологического режима в регионе (для половодного и минимального стока смена фазы водности). Изменение полученных характеристик регулирования оценивалось также относительно этой даты, в данном случае – 1978 г.

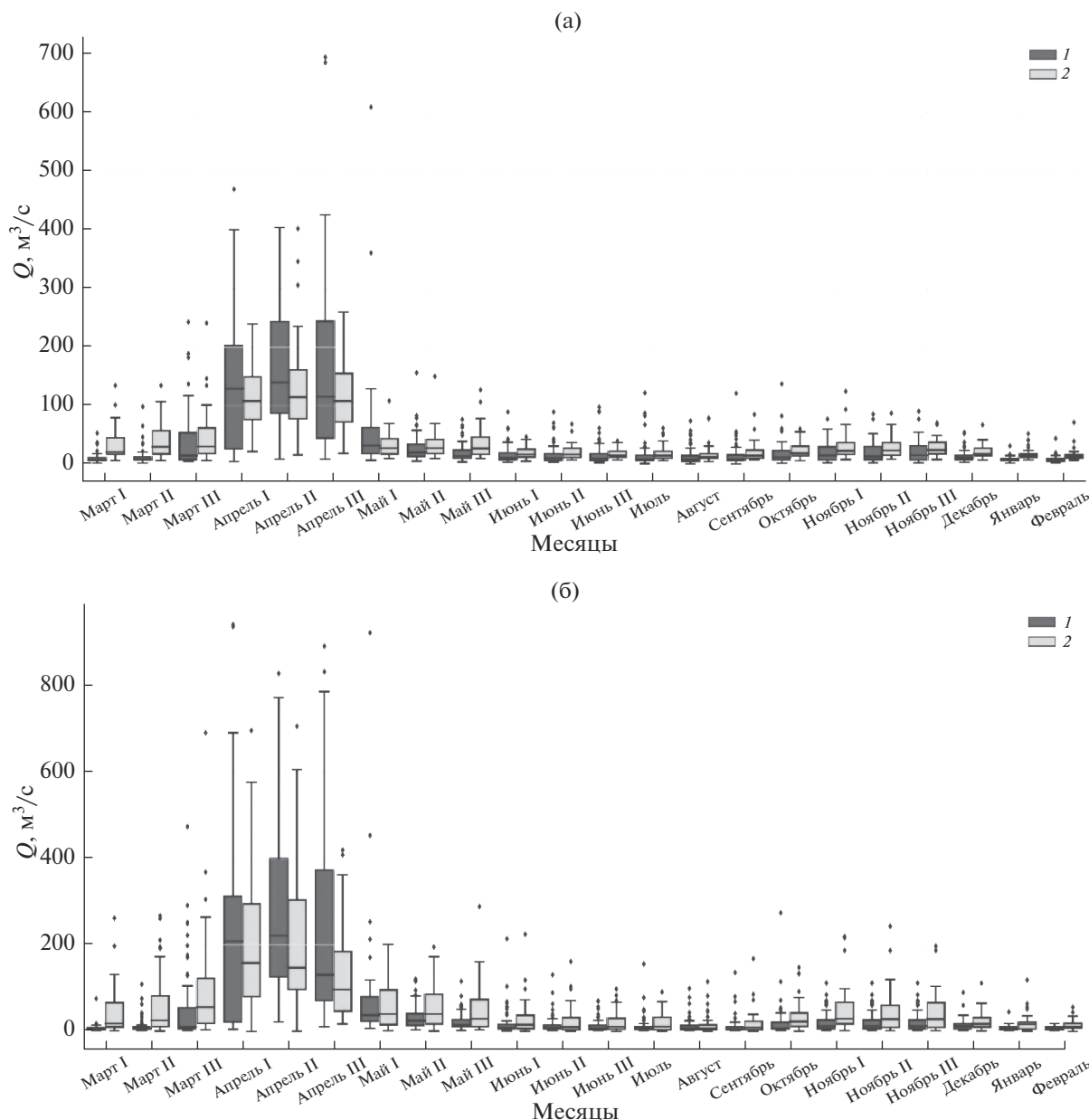


Рис. 2. Суммарный приток воды к водохранилищам МВС (а) и ВГС (б) за два периода: 1 – до 1978 г., 2 – с 1979 г.

Характеристики регулирования водохранилищ ВГС, полученные для двух стационарных периодов, представлены на рис. 2–5 по 22 водохозяйственным интервалам. Имитационное моделирование регулирования стока выполнено по водохозяйственным декадно-месячным интервалам. Можно видеть, как после 1978 г. изменились суммарный приток к ВГС и МВС (рис. 2), суммарные полезные объемы (рис. 3), объемы переброски воды из ВГС (рис. 4), суммарный годовой дефицит воды (рис. 5). Под дефицитом здесь и далее понимается разница между гарантированно

обеспеченным и фактически подаваемым объемами воды потребителям.

Для оценки эффективности регулирования стока водохранилищами наиболее важные показатели – обеспеченность числа бесперебойных интервалов ( $P_{\text{инт}}$ , %) и обеспеченность числа бесперебойных лет ( $P_{\text{лет}}$ , %). Для того, чтобы показать, как повлияли климатические изменения на эти показатели, их значения рассчитываются для каждого стационарного периода. Для водохранилищ ВГС и МВС показатели эффективности ре-

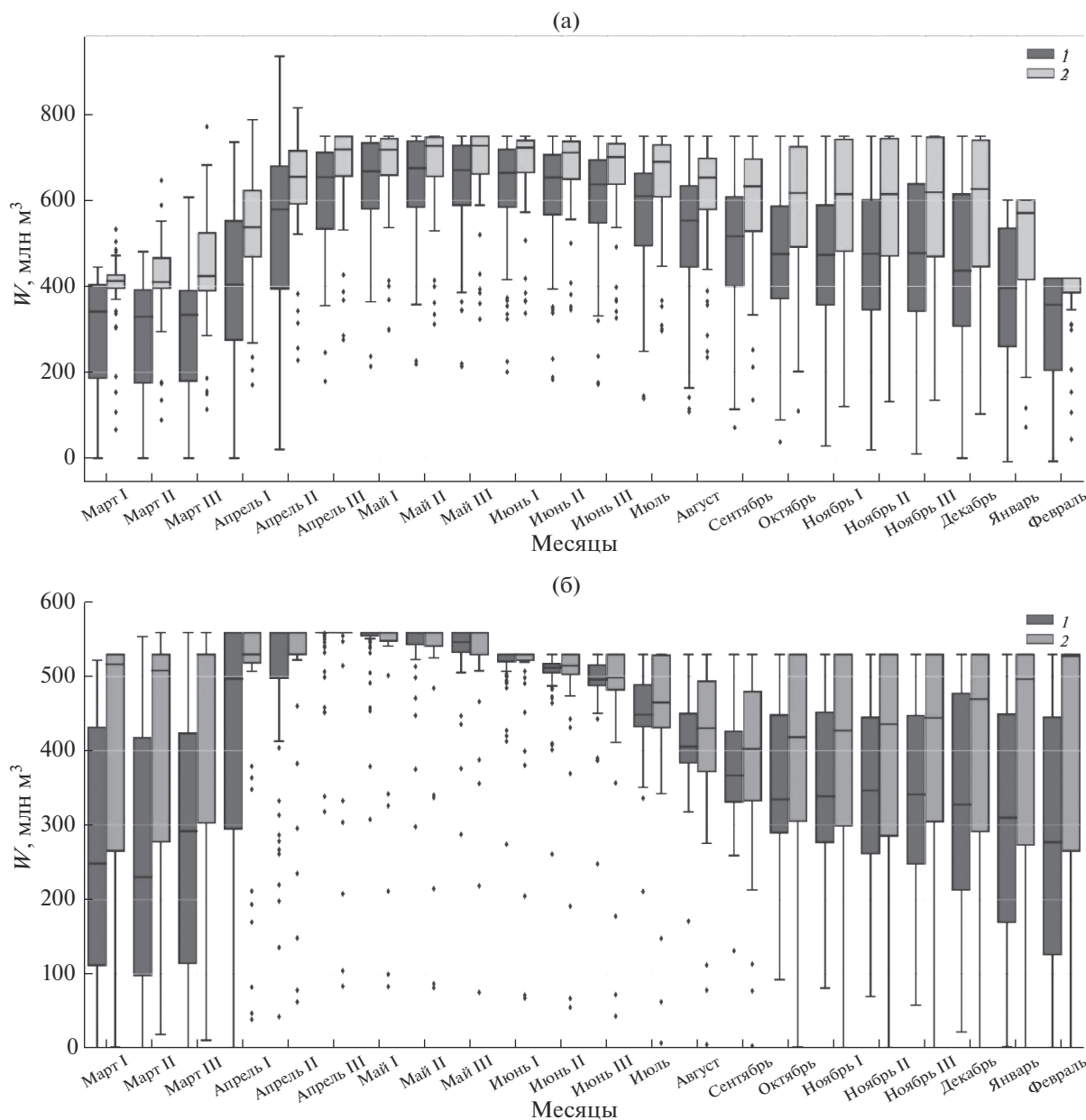


Рис. 3. Суммарный полезный объем водохранилищ МВС (а) и ВГС (б) за два периода: 1 – до 1978 г., 2 – с 1979 г.

гулирования стока приведены в табл. 1 (расчеты проводились на гарантированную отдачу 95%-й обеспеченности).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Режим среднего годового притока ко всем водохранилищам МВГС в период с 1978 г. изменился и характеризуется увеличением водности (рис. 2). При этом внутригодовое распределение притока к системе водохранилищ характеризуется увели-

чением водности в лимитирующие периоды и снижением водности в нелимитирующие периоды [5].

Следует отметить, что снижение стока половодья с 1978 г. сопровождается сменой границ сезонов во внутригодовом распределении стока. В марте, который традиционно считался переходным месяцем от зимней межени к половодью, с середины 1970-х гг. происходят существенные изменения притока ко всем водохранилищам МВГС. Наиболее значительно (в 2.8 раза) увеличился

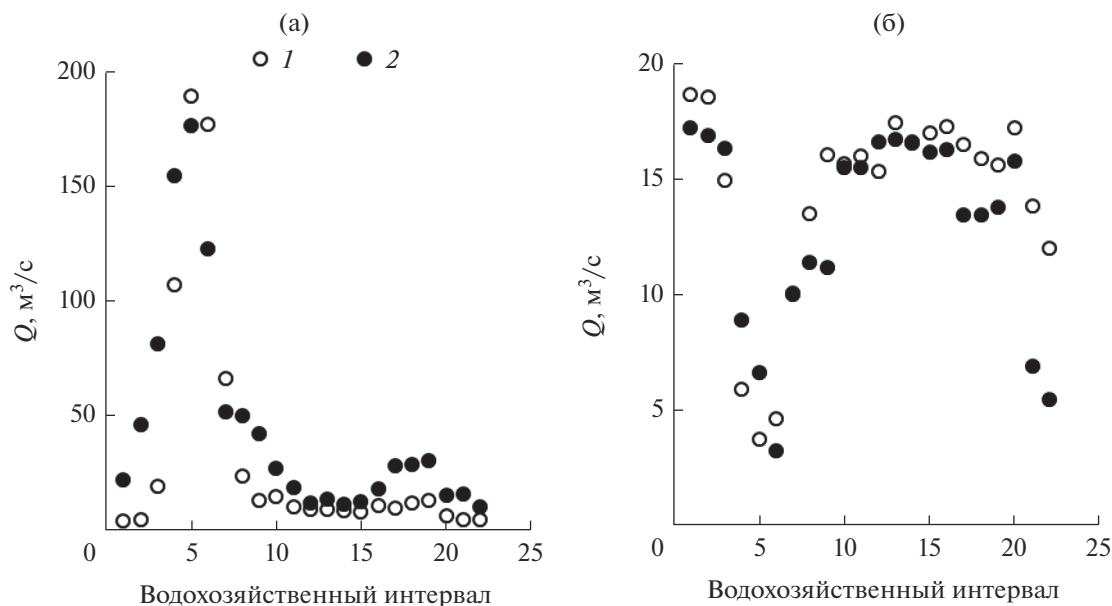


Рис. 4. Расходы (попуски) воды из ВГС в р. Волгу (а) и переброски в МВС (б) за два периода: 1 – до 1978 г., 2 – с 1979 г.

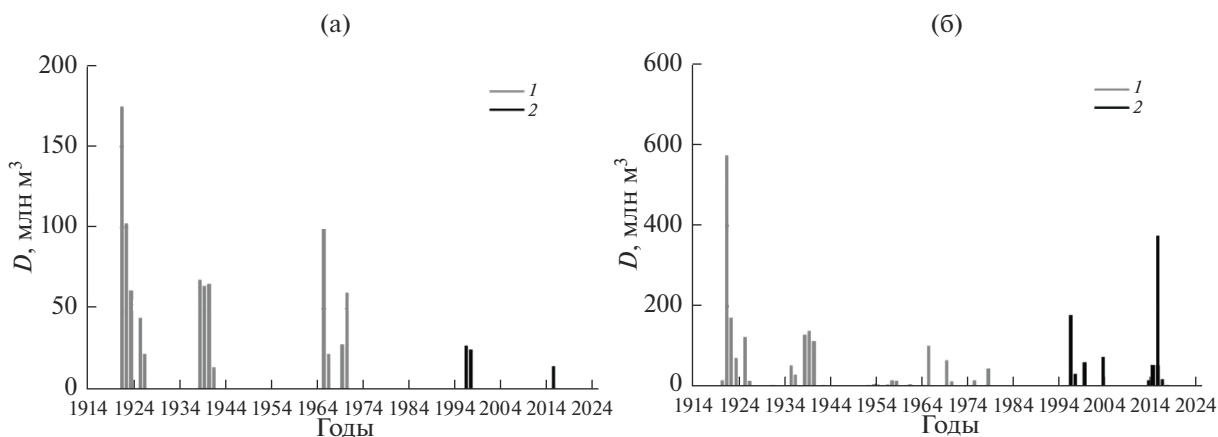
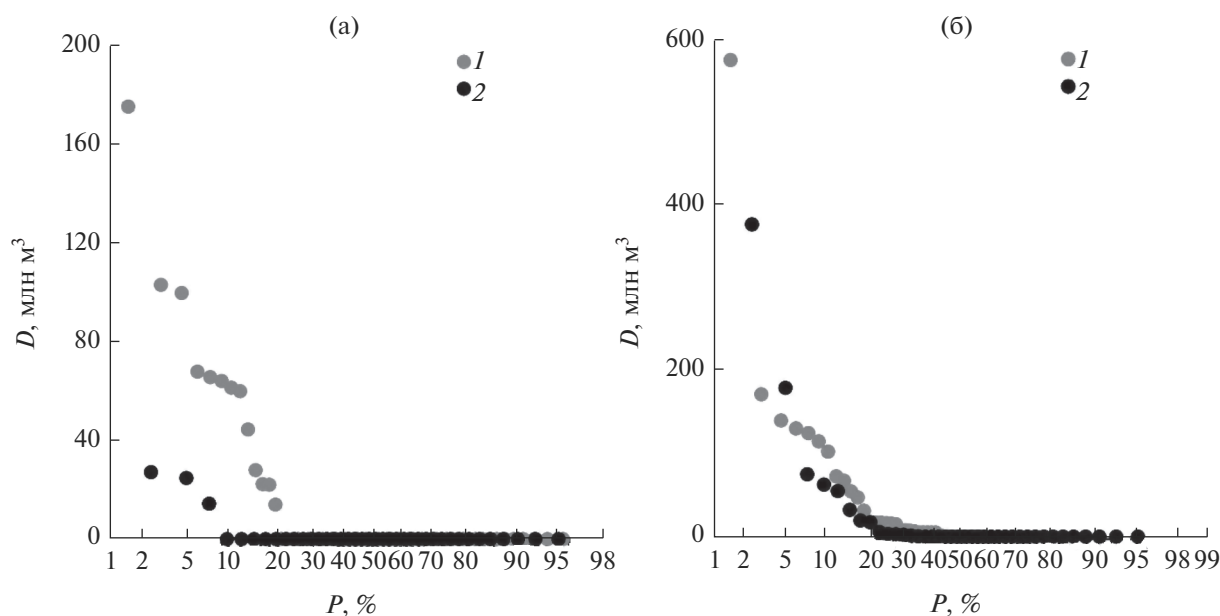


Рис. 5. Суммарный годовой дефицит воды в водохозяйственных системах МВС (а) и ВГС (б) за два периода: 1 – до 1978 г., 2 – с 1979 г.

Таблица 1. Обеспеченности числа бесперебойных интервалов  $P_{инт}$  (%) и обеспеченности числа бесперебойных лет  $P_{лет}$  (%) (обеспеченность: в числителе – для МВС, в знаменателе – для ВГС)

Критерий эффективности регулирования	Стационарные периоды	
	1914–1978 гг.	1978–2018 гг.
$P_{инт}$	94.2/92.3	99/90.4
$P_{лет}$	80/53	92.3/60



**Рис. 6.** Кривые распределения суммарных годовых дефицитов воды в водохозяйственных системах МВС (а) и ВГС (б) за два периода: 1 – до 1978 г., 2 – с 1979 г.

приток в марте к Вазузскому водохранилищу, к остальным водохранилищам фиксируются в среднем двукратные увеличения притока. При этом приток в апреле резко уменьшается. Такая картина обусловлена ростом зимней температуры воздуха, что, с одной стороны, приводит к увеличению меженного стока за счет оттепелей, а с другой стороны, обеспечивает смещение даты начала половодья с апреля на более ранние сроки второй половины марта.

Для ВГС, как и для всей МВС [3], отмечается увеличение суммарных полезных объемов воды в водохранилище (рис. 3). Увеличение попусков во все расчетные интервалы (кроме половодных), в частности в конце водохозяйственного года, происходит на фоне выросших запасов воды на конец декабря и вызвано необходимостью освобождения места для притока талой воды в половодье. Увеличение отдачи во вторую и третью декады марта связано с большим притоком к водохранилищу в этот период, что вызвано смещением сроков половодья на более ранние даты. Режим пропуска половодья изменился несущественно, при этом значительно увеличились сбросы в мае–июне.

Водохозяйственные расчеты показали, что в результате произошедших климатических изменений сбросные расходы из Вазузского водохранилища в Волгу существенно возросли (в некоторые интервалы до  $\geq 2$  раз) (рис. 4а), а расход пере-

брасываемой воды в МВС уменьшился, особенно в зимнюю межень (рис. 4б).

Тем не менее в летние месяцы в некоторые годы в ВГС отмечаются случаи дефицита воды. При сокращении в целом объема дефицита все же наблюдаются случаи перебоев (рис. 5б), приуроченные к группировкам маловодных лет. Для МВС произошедшие изменения в характере притока привели к существенному уменьшению количества случаев дефицита воды (рис. 5а).

На основании сравнения показателей обеспеченности числа бесперебойных интервалов ( $P_{\text{инт}}$ , %) и обеспеченности числа бесперебойных лет ( $P_{\text{лет}}$ , %) можно сделать вывод о незначительном снижении надежности системы ВГС по сравнению с МВС в целом (табл. 1). Обеспеченность числа бесперебойных интервалов ВГС сократилась на 2% преимущественно за счет возникновения перебоев в самые уязвимые летние месяцы. При этом обеспеченность числа бесперебойных лет выросла на 7%. Однако стоит отметить, что на значимость данного критерия влияет длина рядов для двух периодов (59 и 38 лет соответственно), и она недостаточна, чтобы уверенно говорить о существенном изменении рисков возникновения перебоев для ВГС.

Таким образом, увеличение суммарных полезных объемов на всех расчетных интервалах (по сравнению с базовым периодом), сокращение дефицитов воды в большей части расчетных ин-



тервалов не привели к росту эффективности регулирования ВГС. Это может быть объяснено совокупностью природных факторов и управленческих решений. С одной стороны, систематическое уменьшение объема талого стока полностью не компенсируется увеличением стока в зимнюю межень. С другой стороны, сокращение дефицитов воды в сочетании с увеличением суммарных полезных объемов на всех расчетных интервалах (по сравнению с базовым периодом) приводит к тому, что водохранилища стоят наполненными практически во все сезоны и использование их водных ресурсов происходит неэффективно. Заметим также, что снижение эффективности при компенсационном регулировании стока МВС происходит по причине синхронности колебаний притока к Вазузскому водохранилищу и к МВС, что наиболее опасно в маловодные годы.

Распределение вероятностей суммарных годовых дефицитов воды в МВС и ВГС проанализировано для двух периодов наблюдений (рис. 6). В текущий период (1979–2019 гг.) параметры распределения существенно изменились, кривая обеспеченности на графике располагается существенно ниже. Применение единой кривой распределения для оценки параметров кривой распределения дефицита не представляется правомерным из-за очевидной неоднородности ряда [2, 10].

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования и расчеты показали, что на фоне произошедших изменений в характере притока к системе водохранилищ эффективность управления водными ресурсами изменилась. При этом ситуация сложилась неоднозначная.

Для всей МВГС эффективность регулирования увеличилась за счет выравнивания внутригодового распределения притока, что привело к снижению вероятности перебоев подачи воды из водохранилищ. В то же время уменьшение в целом дефицитов воды приводит к неэффективному использованию водных ресурсов; в частности, для ВГС становится особенно заметным отсутствие востребованности водных ресурсов Вазузского водохранилища в системе водоснабжения г. Москвы. Обусловлено это не просто возросшей изменчивостью речного стока, но его существенным увеличением во всем регионе. Именно это обстоятельство вызывает необходимость пересмотра правил управления водохранилищами МВГС.

Окончательное заключение об изменениях в работе МВГС и о мерах по совершенствованию управления рисками эксплуатации водохранилищ предстоит сделать после включения в хозяйственную модель Иваньковского водохра-

нилища, основного компонента Волжской водной системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болгов М.В. Об оценке надежности функционирования Москворецкой водной системы и Волжско-Камского каскада гидроузлов в условиях затяжного маловодья // Вод. ресурсы. 2010. Т. 37. № 3. С. 304–312.
2. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волги // Метеорология и гидрология. 2014. № 3. С. 75–85.
3. Болгов М.В., Филиппова И.А., Харламов М.А. Современные изменения гидрологического режима и водообеспечение московского региона // Метеорология и гидрология. 2020. № 8. С. 29–36.
4. Исмаилов Г.Х., Перминов А.В., Раткович Д.Л. Вопросы методологии управления режимом работы системы водохранилищ на примере московского региона // Природообустройство. 2013. № 3. С. 60–65.
5. Коробкина Е.А., Филиппова И.А. Влияние климатических изменений на приток к Москворецко-Вазузской гидротехнической системе // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. с международ. участием. Пермь, 2021. С. 130–135.
6. Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Вазузской гидротехнической системы им. 60-летия Октября. М.: Минводхоз РСФСР, 1981. 18 с.
7. Пряжинская В.Г., Ярошевский Д.М., Левит-Гуревич Л.К. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами. М.: Физматлит, 2002. 496 с.
8. Хранович И.Л. Управление водно-ресурсными системами: потоковые модели. М.: Науч. мир, 2001. 295 с.
9. Blöschl G., Viglione A., Montanari A. Emerging approaches to hydrological risk management in a changing world // Climate Vulnerability: Understanding and Addressing Threats to Essential Resources. V. 5. Vulnerability of Water Resources to Climate. Amsterdam: Elsevier Inc., Acad. Press, 2013. P. 3–10.
10. Bolgov M., Korobkina E., Filippova I. Bayesian Decision for Low Flow Evaluation in Non-Stationary Conditions // The-Grand Challenges Facing Hydrology in the 21st Century. Dooge Nash Int. Sympos. Dublin, Ireland, 2014. P. 65–74.
11. Di Baldassarre G., Montanari A., Lins H., Koutsoyiannis D., Brandimarte L., Blöschl G. Flood fatalities in Africa: From diagnosis to mitigation // Geophys. Res. Lett. 2010. V. 37. L22402.
12. EU White Paper: Adapting to climate change: Towards a European framework for action (COM(2009) 147)

- [Электронный ресурс]. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:EN:PDF> (дата обращения: 15.04.2021)
13. *Szolgayova E., Laaha G., Blöschl G., Bucher C.* Factors influencing long range dependence in streamflow of European rivers // *Hydrol. Processes*. 2014. V. 28. № 4. P. 1573–1586.
  14. *Mainstreaming Drought Risk Management: A primer.* Nairobi, UNDP, 2011. 73 p. [Электронный ресурс]. <https://www.undp.org/content/dam/undp/library/Environment%20and%20Energy/sustainable%20land%20management/Mainstreaming%20DRM-English.pdf> (дата обращения 15.04.2021)
  15. *Milly P.C.D., Betancourt J., Falkenmark M., Hirsch R.M., Kundzewicz Z.W., Lettenmaier D.P., Stouffer R.J.* Stationarity is dead: Whither water management? // *Sci.* 2008. V. 319. P. 573–574.
  16. *Viglione A., Montanari A., Blöschl G.* Challenges of reservoir planning and management in a changing world // *IAHS Publ.* 2013. № 362. P. 1–10.
  17. *Wilby R.L., Dessai S.* Robust adaptation to climate change // *Weather*. 2010. V. 65. № 7. P. 180–185.