

Представленные зависимости в большинстве случаев учитывают более 80 % дисперсии годового стока ( $R^2 = 0,82...0,97$ ), что позволяет использовать их для оценки возможных значений годового стока реки Волги в рамках различных сценариев изменения климата в ее бассейне.

1. **Кислов А. В., Торопов П. А.** Моделирование климатических условий Восточно-Европейской равнины и вариации стока рек Волги в эпоху позднеплейстоценного похолодания // Вестник МГУ. – Сер. 5. География. – 2006 – № 2. – С. 13–17.

2. **Исмайлов Г. Х., Федоров В. М.** Межгодовая изменчивость и взаимосвязь элементов водного баланса реки Волги // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35. – № 3. – 2008. – С. 259–276.

Материал поступил в редакцию 31.03.10.

**Исмайлов Габил Худуш оглы**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Гидрология, метеорология и регулирование стока»

Тел. 8 (499) 976-23-68

E-mail: [Ism37@mail.ru](mailto:Ism37@mail.ru)

**Федоров Владимир Михайлович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Тел. 8 (499) 135-04-06

УДК 502/504:551.48:627.81

**В. И. КЛЁПОВ**

Институт водных проблем РАН

## ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНОЙ ВОДНО-РЕСУРСНОЙ СИСТЕМОЙ (НА ПРИМЕРЕ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА)

*Регулирование речного стока при помощи водохранилищ направлено прежде всего на повышение надежности водоснабжения населения и предприятий. Такое регулирование является обычным, когда ставится задача использования стока, недостаточного в межень и избыточного в половодье и паводок. Расчеты регулирования низкого стока направлены на установление величины гарантированной водоотдачи водно-ресурсной системы, обеспеченности водоотдачи, регулирующего объема и режима работы.*

*Управление водно-ресурсной системой, речной сток, маловодные гидрологические условия, гарантированная водоотдача, обеспеченность водоотдачи.*

*River flow regulation by means of reservoirs is directed primarily to the reliability improvement of water supply to the population and enterprises. Such regulation is common when there is a task of using the flow which is insufficient during low water and excess during high water and flooding. Estimations of regulation aimed at raising the low flow are directed to establishing the value of the guaranteed water yield of the water-resource system, provision of water yield, regulating volume and regime of operation.*

*Management of the water resource system, river flow, low water hydrological conditions, guaranteed water yield, provision of water yield.*

Регулирование стока для увеличения минимальных и уменьшения максимальных расходов воды можно охарактеризовать как два взаимоисключающих направления одного процесса: первое направление – стремление к максимальному наполнению водохранилища и более полному сохранению запасов воды на случай маловодного периода, второе – в ожидании многоводья следует держать водохранилище по возможности опорожненным. Однако не исключено и совмещение таких противоречивых функций. Тогда очень важен надежный гидрологический прогноз и четко продуманный режим работы водохранилища, основанный, например, на диспетчерских правилах управления. Примером такой работы могут служить водохранилища Московского региона, предназначенные одновременно для увеличения минимальных расходов воды и для срезки максимальных расходов.

Речной сток обладает целым рядом особенностей, заключающихся в его постоянной изменчивости во времени. Многочисленные исследования показали, что наряду с закономерными изменениями, вызванными чередованием времен года, существуют нерегулярные колебания стока. Такие колебания, в силу множественности порождающих их причин, носят случайный характер и вызывают при фиксированном уровне водопотребления дефицит водных ресурсов. Под фиксированным уровнем водопотребления обычно понимается гарантированная отдача водно-ресурсной системы, соответствующая минимальному годовому объему водных ресурсов, полностью удовлетворяющих требования потребителя. При отсутствии регулирования стока гарантированная отдача есть минимальный годовой сток, обеспеченность которого приближается к 100 %.

Как известно, обеспеченностью отдачи водно-ресурсной системы  $p$  называется вероятность (по числу бесперебойных лет) того, что объем водоснабжения окажется не менее заданной величины. В этих условиях увеличение отдачи выше гарантированной, соответствующей меньшей обеспеченности, приведет к появлению дефицита водных ресурсов, выражающегося объемом воды, недоданной потребителям в маловодные годы. Для

анализа подобных ситуаций в теории регулирования стока используется коэффициент регулирования

$$\alpha = \frac{Q_n}{\bar{Q}},$$

где  $Q_n$  – расход воды, отдача которого обеспечивается водохранилищем;  $\bar{Q}$  – среднемноголетний расход.

Обычно коэффициент  $\alpha$  используется для характеристики отдачи водохранилища, регулирующая способность которого характеризуется коэффициентом емкости водохранилища

$$\beta = \frac{V}{\bar{W}},$$

где  $V$  – объем водохранилища;  $\bar{W}$  – средний за многолетие годовой сток.

**Водообеспечение Московского региона** осуществляется за счет стока реки Волги из Ивановского водохранилища по каналу имени Москвы, стока рек Вазузы и Москвы из водохранилищ Москворецко-Вазузской системы и артезианских скважин. Для пополнения водных ресурсов Верхней Волги используется сток бассейна реки Мсты, зарегулированный Вышневолоцким водохранилищем и подаваемый в Волгу по руслу реки Тверцы. К настоящему времени ВРС Московского региона объединяет девять водохранилищ различной степени регулирования речного стока, расположенных в смежных речных водосборах, а также участки рек, каналы, насосные станции и т.д. [1].

До последнего времени система водообеспечения Московского региона имела значительный запас прочности, так как ее гарантированная водоотдача превышала потребности в воде даже в засухливые годы. Однако дальнейшее развитие региона и возможное увеличение водопотребления, прежде всего в питьевом и коммунально-бытовом водоснабжении, может привести к дефициту водных ресурсов в системе, особенно в маловодные годы.

Несмотря на высокий уровень надежности гарантированной отдачи системы водообеспечения Московского региона (95...97 % по числу бесперебойных лет), необходимо предвидеть возможные последствия срыва этой отдачи, которые могут быть весьма значительными. В работе [2] приведены результаты расчетов, показывающие степень надежности одной

из частей ВРС Московского региона – Вазузской гидротехнической системы (ВГС). В крайне маловодных условиях, при теоретически возможном «срыве» отдачи, т.е. ее сокращении и, как следствие, ущербе в одной из возможных форм или их сочетаний (уменьшении по сравнению с гарантированной величиной) негативная нагрузка на природу и человека существенно возрастет.

После создания водохранилищ в верховьях реки Москвы расходы половодий уменьшились как по высоте, так и по продолжительности. В годы средней и низкой водности половодья формируются лишь за

счет стока с неконтролируемой водохранилищами площади водосбора. Если прогнозируемый весенний приток к водохранилищам превышает их свободный объем в начале снеготаяния, можно ожидать появления излишков воды. Причем при формировании в черте города расхода воды более 700 м<sup>3</sup>/с можно разработать режим расходов, который создаст условия для существенной промывки русла реки. В таблице приведена характеристика минимальных расходов воды в нижних бьефах гидроузлов ВРС Московского региона в естественных (обеспеченность 95 и 97 %) и зарегулированных условиях.

**Характеристика минимальных расходов воды в нижних бьефах гидроузлов**

Река	Гидроузел	Условия		
		Естественные		Зарегулированные
		95%	97%	
Волга	Верхневолжский	8,0	7,5	15,0
Волга	Иваньковский	12,0	10,0	20,0
Истра	Истринский	0,6	0,5	1,0
Москва	Можайский	0,8	0,7	1,5
Руза	Рузский	0,6	0,5	1,0
Озерна	Озернинский	0,6	0,5	1,0
Москва	Рублевский	9,0	8,0	29,0
Вазуза	Вазузский	3,7	3,5	5,0
Яуза	Яузский	0,1	0,1	0,3

**Исходная информация.** Порядок и форма представления исходной информации определяется спецификой водохозяйственных и водно-энергетических расчетов, кругом решаемых задач, возможностями располагаемой вычислительной техники, стремлением к типизации представления информации. Информация, используемая в настоящей работе, была приведена в соответствие с целями и задачами проводимого исследования. При выборе информации необходимо стремиться к тому, чтобы точность получаемых в процессе имитационных расчетов результатов была не ниже точности традиционных водохозяйственных расчетов. Используемую исходную информацию условно можно разделить на следующие группы:

- гидрологическая информация;
- информация о водопотреблении и возможных его ограничениях;
- информация о правилах регулирования стока;

морфометрические характеристики чаши водохранилища;

характеристики нижнего бьефа.

Детализация гидрологической информации соответствует требованиям, предъявляемым к расчетам регулирования стока: год разделен на 20 интервалов, длительность которых составляет декаду для периода март – июнь и месяц для периода июль – февраль. Начало водохозяйственного года – первая декада марта. Принятая жесткая дата начала гидрологического года может приводить к искажению характеристики обеспеченности гарантированной отдачи по числу бесперебойных лет. Поэтому наряду с фиксированной датой начала гидрологического года в работе использовалась также скользящая шкала.

Проблема оценки экологических попусков в нижние бьефы гидроузлов в настоящее время не решена, и поэтому экологические попуски могут быть представлены в

обобщенной характеристике попусков в нижние бьефы гидроузлов [3]. Вместе с тем, следует заметить, что разработанная математическая модель позволяет в случае необходимости учитывать наряду с другими требованиями к режиму работы гидроузлов и экологические требования. К морфометрическим характеристикам чаши водохранилища относятся следующие зависимости:

$$W = f(z) \text{ и } F = \kappa(z),$$

где  $W$  и  $F$  – соответственно объем и площадь зеркала водохранилища;  $z$  – отметка уровня водохранилища.

В настоящее время при задании их в качестве исходной информации используются интерполяционные таблицы, позволяющие аппроксимировать морфометрические характеристики практически с любой заданной точностью. Потери на испарение из водохранилищ вычисляются путем умножения нормы испарения с единицы площади на среднюю за интервал времени площадь поверхности водохранилища.

Представление информации о правилах управления при математическом моделировании является сложной проблемой, которая в зависимости от требуемой степени детализации правил решается по-разному. В данной работе правила управления режимом сработки и наполнения водохранилищ в имитационной модели заданы в виде линий (значений объемов воды для каждого интервала), разделяющих полный объем на три зоны, соответствующие трем гидрологическим состояниям системы (многоводное, среднее и маловодное). Это позволяет менять отдачу или величину попуска в нижний бьеф в зависимости от запаса воды в водохранилище в каждом интервале времени при принятой системе приоритетов. В простейшем случае правила управления формулируются в виде ограничений на объем водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ) и уровне «мертвого» объема (УМО). Дальнейшая детализация правил осуществляется в направлении разбиения регулирующего объема водохранилища на зоны, в которых регламентируется определенный порядок водоснабжения потребителей в зависимости от их народно-хозяйственной значимости и водности периода.

Для организации расчетов, а также для обработки получаемых результатов

дополнительно вводится соответствующая информация: имя объекта, имя интервала, а также его номер и продолжительность, число интервалов, продолжительность характерных фаз гидрологического цикла (половодье, межень и др.), константы, обеспечивающие заданную точность расчетов, а также таблицы для построения кривых продолжительности некоторых результирующих характеристик.

**Повышение надежности водоснабжения.** Под надежностью системы централизованного водоснабжения понимается ее способность обеспечивать абонентов водой в необходимом количестве и должного качества. При разработке правил управления режимом работы водохранилищ необходимо ориентироваться на определенные критерии качества управления, которые должны учитывать стохастический характер будущего притока воды к водохранилищам. В качестве такого критерия широко применяется показатель надежности (расчетной обеспеченности) удовлетворения заявленных требований к водоотдаче. Этим показателем определяются как параметры ВРС, так и правила наполнения и сработки водохранилищ.

Характеристиками расчетной обеспеченности гарантированной водоотдачи ВРС могут служить следующие показатели [1, 4]: обеспеченность по числу бесперебойных лет; обеспеченность по длительности бесперебойных периодов; обеспеченность по объему доставленной пользователю воды (по сравнению с объемом воды, отвечающим норме); обеспеченность по регулярности работы в нормальном режиме.

При исследовании гарантированной водоотдачи водохранилищ могут быть использованы все рассмотренные показатели обеспеченности, каждый из которых освещает разные стороны величины гарантированной водоотдачи. Очевидно, что той или иной отрасли хозяйства одни показатели могут соответствовать в большей степени, чем другие. Например, отрасли водоснабжения в наибольшей мере соответствует расчетная обеспеченность по объему доставленной пользователю воды, судоходству – расчетная обеспеченность по длительности бесперебойного периода. На практике для большинства компонентов водохозяйственного комплекса характерно использование параметра



расчетной обеспеченности по числу бесперебойных лет. Это можно объяснить простотой расчета и нецелесообразностью его усложнения при отсутствии экономического подтверждения анализируемых значений водоотдачи. Четко выраженной зависимости между характеристиками обеспеченности нет. Принцип экономического обоснования целесообразного значения расчетной обеспеченности основан на сопоставлении ущербов, возникающих у водопользователя вследствие ограничения водоподдачи, и затрат, необходимых для сокращения этих ограничений. Общепризнанной методики оценки ущербов от недодачи воды компонентам водно-ресурсных систем в настоящее время нет. Поэтому использование показателя расчетной обеспеченности в качестве критерия эффективности тех или иных правил управления на данном этапе развития можно считать вполне оправданным.

Под гарантированной водоотдачей, например Иваньковского водохранилища, понимается такое количество воды, которое может быть подано в канал имени Москвы в соответствии с внутригодовым распределением потребности в воде и располагаемой мощностью насосных станций канала. Величина гарантированной водоотдачи Иваньковского водохранилища описывается уравнением водного баланса. Под гарантированной водоотдачей Москворецкой водной системы понимается такое количество воды, которое может быть подано в створ Рублевского гидроузла. Под гарантированной водоотдачей Вазузской гидротехнической системы понимается такое количество воды, которое может быть подано также в створ Рублевского гидроузла сверх водоотдачи Москворецкой водной системы. Под дефицитом гарантированной водоотдачи водохранилищ понимается месячный, годовой или суммарный за многолетие недостаток водных ресурсов для обеспечения заданной величины водоотдачи. Очевидно, что дефицит водоотдачи характерен для маловодных гидрологических условий и для одних и тех же маловодных гидрологических условий увеличивается с ростом водоотдачи.

В рассматриваемой задаче наибольший интерес представляют маловодные годы и их группировки, когда был возможен

дефицит водных ресурсов. Для выявления таких лет выполнено сопоставление изменяющегося из года в год и от месяца к месяцу притока воды к системе и вариантов гарантированной водоотдачи. При сопоставлении значения изменяющегося притока к Иваньковскому водохранилищу и вариантно заданной гарантированной водоотдачи в канал имени Москвы получены характеристики дефицита водоотдачи. В качестве примера представлен один из фрагментов возможных правил управления водно-ресурсной системой Верхней Волги в условиях маловодных лет.

Наиболее напряженная обстановка с водоснабжением Москвы со времени ввода в строй Вазузской гидротехнической системы (1978) сложилась в 1996 году, хотя этот год по суммарному притоку занимает третье место среди маловодных лет после 1921/22 и 1964/65 годов, т. е. формально может быть оценен как год 96%-ной обеспеченности. Отчетные данные показывают, что с апреля 1996 года санитарные попуски в нижний бьеф Рублевского гидроузла не давались. Более того, Рублевская насосная станция первого подъема, расположенная в нижнем бьефе, для подачи в Москву в значительной степени использовала волжскую воду (до 7 м<sup>3</sup>/с), что не предусмотрено никакими правилами использования водных ресурсов. Не были выполнены также требования по обводнительным попускам для рек Учи, Клязьмы и Яузы. При этом Москворецкие водохранилища имели достаточно большой запас воды, значительно превышающий диспетчерские требования. Как показал анализ режима работы основных водохранилищ системы водоснабжения Москвы, сложившаяся напряженная обстановка в 2010 году объяснялась не только относительно низкой естественной приточностью, но также несовершенством правил управления системой.

#### Выводы

С момента своего создания на основе бассейна Верхней Волги система водообеспечения Московского региона ориентирована на использование преимущественно поверхностного стока. Функционирование системы изменило естественный гидрологический режим речного бассейна. Интенсивное изъятие поверхностного стока

существенно нарушает режим подземного стока. Развитие системы водообеспечения Московского региона неизбежно подойдет к своему экологическому пределу. При дальнейшем функционировании этой системы целесообразно провести исследования оптимальных путей развития системы водообеспечения Московского региона, в том числе его экологической безопасности.

1. **Клёпов В. И.** Разработка и построение правил управления водно-ресурсной системой в маловодных условиях // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2008. – № 4. – С. 15–18.

2. **Клёпов В. И.** Обеспеченность гарантированной водоотдачи водохранилищ

в маловодных условиях // Природообустройство. – № 5. – 2010. – С. 81–85.

3. **Клёпов В. И.** Управление природоохранными попусками в бассейне Верхней Волги как способ повышения надежности водообеспечения Московского региона // Водные ресурсы. – № 5. – 2007. – С. 626–630.

4. **Асарин А. Е., Бестужева К. Н.** Водно-энергетические расчеты. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 222 с.

Материал поступил в редакцию 19.01.11.

**Клёпов Владимир Ильич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории управления водными ресурсами

Тел. 8 (495) 396-27-12

E-mail: viklepov@rambler.ru

УДК 502/504:551.311.21

**О. Л. АНТОНЕНКО**

Государственный университет «Высокогорный геофизический институт»

## ЛАНДШАФТЫ СЕЛЕВЫХ БАССЕЙНОВ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

*Рассмотрены ландшафты селевых бассейнов горных территорий Кабардино-Балкарии, которые характеризуются чрезвычайно развитой расчлененностью, высотной зональностью, дифференциацией атмосферных осадков, перепадами температур. Указанное в определяющей степени влияет на развитие склоновых экзогенных процессов и формирование селевых бассейнов как функционально-целостных геосистем, обладающих долговременно интегрирующим фактором предгорных, среднегорных и горных ландшафтов. Подтверждением служат различные виды ландшафтов селевых бассейнов Кабардино-Балкарии.*

*Горный ландшафт, селевой бассейн, селевые потоки, высотная зональность, склоновые процессы, ледники, конус выноса, приледниковые озера.*

*There are considered the landscapes of mud flow basins of the Kabardino-Balkaria mountainous areas which are characterized by an extremely developed splitting, high zoning, differentiation of precipitation, temperature drops. The above mentioned points out to a considerable degree to the development of slope exogenous processes and formation of mud flow basins as functionally whole systems which possess a long-term integral factor of sub-mountain, middle-mountain and mountain landscapes. It can be proved by different kinds of the Kabardino-Balkaria landscapes of mud flow basins.*

*Mountainous landscape, mud flow basin, mud flows, high-altitude zoning, slope processes, glaciers, slope wash, ice zoning lakes.*