

УДК 556.048

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАРЕГУЛИРОВАННОГО СТОКА ПОЛОВОДИЙ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ БЕЛОЙ

© 2013 г. В.М. Юров¹, А.Р. Хафизов², И.И. Кулыев¹,
Р.Г. Габдуллин¹

¹Государственное казенное учреждение Республики Башкортостан
Юмагузинское водохранилище, г. Уфа

²Башкирский филиал ФГУП «Российский научно-исследовательский институт
комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Уфа

Ключевые слова: половодье, сток, расходы воды, метеорологические факторы, створ, гидроузел, гидрограф.



В.М. Юров



А.Р. Хафизов



И.И. Кулыев



Р.Г. Габдуллин

На основе наблюдений за период 2006–2011 гг. в створах Юмагузинского, Нугушского гидроузлов и г. Sterlitaмака исследована динамика гидрологических характеристик зарегулированного стока половодий среднего течения р. Белой до створа г. Sterlitaмака. Определены гидрологические характеристики, раскрыта их зависимость от наложения метеофакторов. Выявлены процентные соотношения объемов годового стока и половодья.

Введение

В Российской Федерации угрозе затопления при разливах рек в половодье подвержено от 500 до 800 тыс. км² территорий. Ежегодно затопляется около 50 тыс. км². Наводнения угрожают 746 городам, в т. ч. 40 крупным,

Водное хозяйство России № 1, 2013

Водное хозяйство России

тысячам других населенных пунктов, значительной части сельскохозяйственных земель. Среднегодовой ущерб от наводнений в России составляет 3,25 млрд долл. (более 100 млрд руб.). Для некоторых регионов наводнения являются фактором, влияющим на их экономическое развитие [1].

На осуществление традиционных противопаводковых мероприятий отвлекаются значительные объемы финансовых ресурсов, выделяемые на улучшение природной среды, социальной и экономической ситуации на затопляемых территориях. Эффективность противопаводковых мероприятий зависит от степени изученности динамики гидрологических характеристик рек при половодье на основе комплексного учета всех факторов, формирующих половодье.

Цель данной работы – изучение динамики гидрологических характеристик рек в половодье на примере среднего течения р. Белой (от створа Юмагузинского гидроузла до створа г. Стерлитамака). Факторами, формирующими половодье, приняты метеорологические факторы, Нугушский и Юмагузинский гидроузлы, регулирующие сток р. Белой в среднем течении. Основной исследуемой гидрологической характеристикой выбраны максимальные расходы воды.

Максимальные расчетные и фактические расходы воды

В период прохождения паводков редкой повторяемости 1979 и 1990 гг. на участке среднего течения р. Белой затоплялось до 72 000 га земель, в зону затопления попадали жилые постройки с населением более 96 000 чел. и свыше 360 км дорог и 100 км инженерных коммуникаций. Весенние паводки каждые 2–3 года выводили из сельскохозяйственного оборота около 11 тыс. га земель (смыв плодородного слоя, берегообрушение и т. д.). Среднегодовой размер ущерба от паводков по региону за период 1980–2003 гг. составил около 1 млрд руб. [1].

Введенный в эксплуатацию в 1967 г. Нугушский гидроузел на р. Нугуш (приток первого порядка р. Белой) частично взял на себя задачи по предотвращению негативных воздействий паводков. Однако небольшой полезный объем водохранилища (400 млн м³) не обеспечивал контроля за паводковой ситуацией в среднем течении р. Белой. С 2006 г. противопаводковую нагрузку среднего течения р. Белой совместно с Нугушским несет Юмагузинский гидроузел.

В работе приведены результаты статистического анализа и сравнения фактических максимальных паводковых расходов периода 1941–1998 гг. с аналогичными данными в период 2006–2011 гг. в створах Юмагузинского и Нугушского гидроузлов и г. Стерлитамака. Для Юмагузинского и Нугушского гидроузлов характеристики определялись при помощи таблиц пропус-

Таблица 1. Максимальные срочные расходы в створах Юмагузинского (ЮГУ), Нугушского (НГУ) гидроузлов и г. Sterлитамака за период исследований

| Дата | Q_{\max} ЮГУ, м ³ /с | Дата | Q_{\max} НГУ, м ³ /с | Дата | Q_{\max} г. Sterлитамак, м ³ /с |
|------------|--------------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|----------------------------------------------------|
| 20.04.2006 | 334 | 18.04.2006 | 316,8 | 24.04.2006 | 396 |
| 27.04.2007 | 1249 – 1 пик | 26.04.2007 | 808,9 – 1 пик | 01.05.2007 | 1820 |
| 04.05.2007 | 1233 – 2 пик | 03.05.2007 | 832,5 – 2 пик | 05.05.2007 | 2290 |
| 14.04.2008 | 637 | 14.04.2008 | 457,5 | 09.04.2008 | 434 |
| 04.05.2009 | 248 | 30.04.2009 | 218,4 | 02.04.2009 | 535 |
| 25.04.2010 | 502 | 24.04.2010 | 434,2 | 14.04.2010 | 444 |
| 17.04.2011 | 705 – 1 пик | 16.04.2011 | 413 – 1 пик | 24.04.2011 | 550 |
| 21.04.2011 | 756 – 2 пик | 20.04.2011 | 392 – 2 пик | 29.04.2011 | 630 |

кных способностей водопроводящих трактов [1], для створа г. Sterлитамака использованы официальные данные ФГБУ «Башкирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

Половодья характеризуются следующими гидрологическими характеристиками: дата начала; дата окончания; продолжительность; дата прохождения максимального расхода; величина максимального расхода; объем стока [2]. Максимальные расходы на исследуемом участке наблюдались в периоды весенних паводков (половодий) (табл. 1). Максимальные расходы в створе г. Sterлитамака в маловодные годы (2006, 2009, 2010 гг.) формировались в основном за счет боковой приточности на участке Юмагузинский гидроузел – г. Sterлитамак, поскольку большая часть стока половодья верхнего течения рек Белой и Нугуша аккумулировалась Юмагузинским и Нугушским водохранилищами.

Сроки прохождения половодий и их пиков

По данным многолетних наблюдений [3], наиболее ранняя дата прохождения пика половодья для исследуемого створа (д. Сыртланово – Юмагузинский гидроузел) – 4 апреля 1951 г., наиболее поздняя – 2 мая 1941 г. По данным наших наблюдений за период 2006–2011 гг. наиболее ранний пик с 13 по 14 апреля зафиксирован в паводок 2008 г., наиболее поздний – с 3 по 4 мая 2009 г. (табл. 2). Из таблицы видно, что существует закономерность между временными характеристиками пиков, проходящих через Юмагузинский и Нугушский гидроузлы. Как правило, пик половодья в створе Нугушского гидроузла проходит раньше на 1–2 сут пика в створе Юмагузинского гидроузла.

Пики половодий в годы низкой водности в створе г. Sterлитамака проходили раньше пиков в створе Юмагузинского гидроузла на 2–10 сут и позже – до 5 сут (2006 г.), что объясняется различным сочетанием топографических, гидрологических и климатических факторов площадей водосбора. В год высокой вод-

Таблица 2. Фактические даты прохождения пиков половодий в створах Юмагузинского и Нугушского гидроузлов за исследуемый период

| Год | ЮГУ | НГУ |
|------|--------------------|--------------------|
| 2006 | 19–20.04 | 18–19.04 |
| 2007 | 26–27.04, 3–4.05 | 25–26.04, 2–3.05 |
| 2008 | 13–14.04 | 13–14.04 |
| 2009 | 3–4.05 | 29–30.04 |
| 2010 | 24–25.04 | 23–24.04 |
| 2011 | 16–17.04, 20–21.04 | 15–16.04, 19–20.04 |

ности (2007 г.) время прохождения пиков половодий в створах г. Стерлитамака и Юмагузинского гидроузла почти совпали по причине наложения метеофакторов на активную фазу развития половодья в верхней части площади водосбора Юмагузинского водохранилища, а позже – в среднем течении р. Белой.

Сроки прохождения максимальных расходов в половодья зависят от конкретных условий наложения климатических факторов на гидрологические. Для развития раннего половодья характерны такие слагающие гидролого-климатических составляющих, как резкое повышение и стабилизация высокой температуры воздуха, выпадение дождей в завершающей стадии снеготаяния, глубокое промерзание почвы, большая осенняя влагозарядка. Для позднего половодья, напротив, характерно наложение таких факторов, как медленный рост среднесуточных температур, возврат минусовых температур, отсутствие осадков, слабое промерзание почвы, низкая осенняя влагозарядка.

Сравнительный анализ гидрологических характеристик половодий за шесть лет с наиболее маловодным годом (1975 г.) из ряда наблюдаемых с 1941 г. [3] показал, что продолжительность однопиковых половодий находится в прямой зависимости от водности и может колебаться от 40 (2010 г.) до 50 сут (2009 г.) (табл. 3). Гидрографы двухпиковых половодий растянуты

Таблица 3. Гидрологические и временные характеристики половодий в створе Юмагузинского гидроузла

| Год | Объем половодья $W_{\text{пол}}$, млн м ³ | Расход максимальный среднесуточный Q_{max} , м ³ /с | Продолжительность половодья T_1 , сут | T_2 , сут |
|---------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------|
| 1975 | 540 | 321 | 47 | 17 |
| 2006 | 566 | 334 | 45 | 15 |
| 2007 | 2249 | 1249 | 60 | 22 |
| 2008 | 989 | 637 | 51 | 14 |
| 2009 | 593 | 248 | 50 | 34 |
| 2010 | 498 | 503 | 40 | 25 |
| 2011 | 1120 | 756 | 50 | 11 |
| Среднее значение | 1002 | 594 | 51 | 22 |

Примечание: T_2 – время от начала половодья до максимального расхода.

Таблица 4. Сравнение объемов годового стока с объемами половодий в створе Юмагузинского и Нугушского гидроузлов

| Годы | Объем половодья W_1 , млрд м ³ | Объем годового стока W_2 , млрд м ³ | (W_1/W_2) 100 % |
|------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------|
| Юмагузинский гидроузел | | | |
| 1975 | 0,54 | 0,7 | 77 |
| 2006 | 0,51 | 1,22 | 41 |
| 2007 | 2,18 | 2,78 | 78 |
| 2008 | 0,99 | 1,58 | 62 |
| 2009 | 0,59 | 0,92 | 64 |
| 2010 | 0,49 | 0,77 | 63 |
| 2011 | 1,12 | 1,68 | 67 |
| Нугушский гидроузел | | | |
| 2006 | 0,24 | 0,55 | 43 |
| 2007 | 0,72 | 1,39 | 51 |
| 2008 | 0,63 | 0,69 | 91 |
| 2009 | 0,39 | 0,59 | 66 |
| 2010 | 0,31 | 0,37 | 83 |
| 2011 | 0,55 | 0,88 | 62 |

во времени и зависят от водности. Для года большой водности (2007 г.) продолжительность половодья составила 60 сут, для малой (2011 г.) – 50 сут. Отношение объема стока половодья к годовому по многолетним данным не превышает 75 % [3], однако в ряду исследуемых лет эта характеристика переменная. В створе Юмагузинского гидроузла самый высокий процент (78 %) объема половодья от объема годового стока приходится на многоводный год (2007 г.), самый низкий (41 %) – на год низкой водности (2006 г.), в створе Нугушского гидроузла – 91 и 43 % соответственно (табл. 4). Таким образом, минимальные и максимальные значения отношений наблюдаемых объемов половодий к объемам годовых стоков выходят за рамки среднестатистических значений (70–75 %) [3].

Гидрографы максимальных расходов

Анализ гидрографов годового стока за период 1941–1997 гг. в створах водопостов д. Сыртланово (ЮГУ), НГУ, г. Стерлитамак показывает, что весеннее половодье чаще (85 % случаев) происходит одной волной и гораздо реже двумя. За период наших наблюдений весенние половодья проходили чаще одной волной (2006, 2008–2010 гг.) с апреля по июнь, в 2007 и 2011 г. – двумя. Самый максимальный мгновенный расход 1249 м³/с был зафиксирован при прохождении первого пика половодья с 26 на 27 апреля 2007 г. Двухволновые половодья, как правило, отмечаются в маловодные годы обеспеченностью более 50 % (см. рисунок). Лишь в единичных случа-

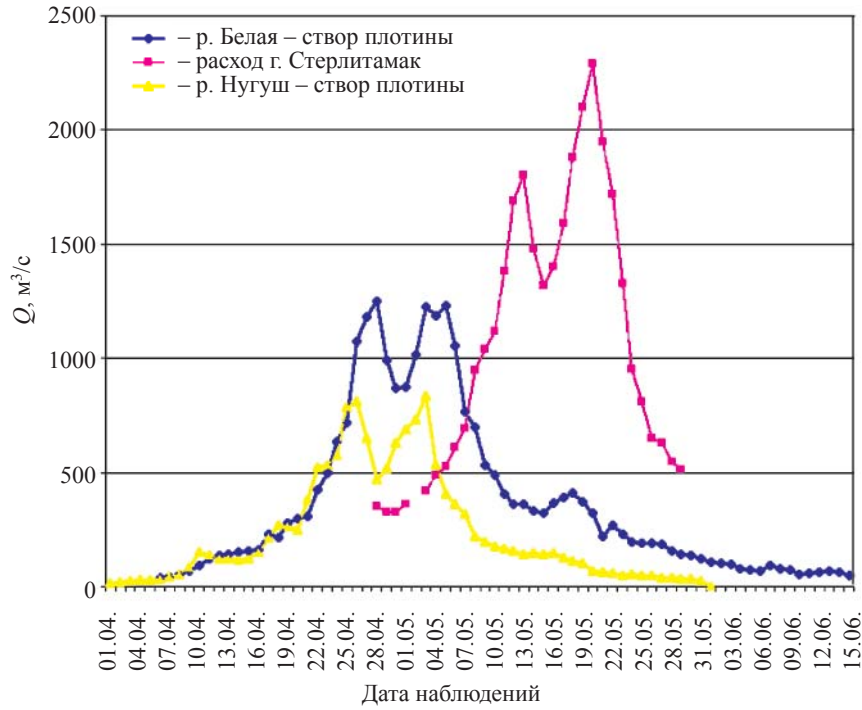


Рисунок. Гидрографы половодья 2007 г. в исследуемых створах.

ях (1957, 2007 гг.) такие половодья отмечены в многоводные годы (обеспеченностью 14 и 17 % соответственно).

Наложение метеорологических факторов на примере половодья 2007 г.

Наложение метеорологических факторов (устойчивое повышение/понижение) температуры воздуха и выпадение/прекращение дождей) в периоды активных фаз половодий для условий Республики Башкортостан играют решающую роль в формировании пика. В период развития половодья 2007 г. дожди и колебания температуры воздуха в верховьях р. Белой вызвали двухпиковый гидрограф в створе Юмагузинского гидроузла. Устойчивое повышение температуры воздуха с 0 °С 19 апреля до 5 °С 26 апреля, с одной стороны, и выпадение наибольшего количества осадков за период половодья 22–25 апреля, с другой, обеспечили 27 апреля достаточно высокий максимум первого пика половодья 1249 м³/с. Прекращение дождей с 26 апреля способствовало резкому снижению притока до 869 м³/с 29 апреля. Резкое повышение температуры воздуха с 0 до 10 °С с 27 по 29 апреля способствовало увеличению интенсивности таяния оставшегося снега,

Таблица 5. Вероятное число наложений метеорологических факторов (выпадение обильных дождей с резким ростом температуры воздуха) на основную волну весеннего половодья в створе Юмагузинского гидроузла [1]

| Число наложений | Водохозяйственный год обеспеченностью P | | |
|-----------------|-------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | многоводный $P < 38 \%$ | средний $P = 38-63 \%$ | маловодный $P > 63 \%$ |
| Среднее | 2 | 1 | 2 |
| Наибольшее | 4 | 4 | 3 |
| Наименьшее | 0 | 0 | 0 |

а с 30 апреля по 2 мая на водосборную площадь Юмагузинского водохранилища снова выпали дожди. Наложение этих двух факторов вызвало 2 мая второй пик половодья с максимальным притоком $1233 \text{ м}^3/\text{с}$. Вероятные числа наложений метеофакторов на основную волну весеннего половодья в створе Юмагузинского гидроузла по данным [3] колеблются от 0 до 4 (табл. 5). Как видно из таблицы, фактическое суммарное количество наложений метеофакторов в период развития половодья 2007 г. совпадает с наибольшим расчетным – для многоводных лет.

Суточные колебания расходов

Интенсивность весеннего половодья зависит от фазы развития и от мощности половодья. Наибольших величин суточные колебания расходов достигают на середине подъема гидрографа половодья, а также при прорыве заторов льда в период ледохода. Интенсивность изменчивости среднесуточных расходов определяли как разность между смежными величинами на подъеме или спаде (табл. 6). При сравнении многолетних гидрологических характеристик с данными исследований видно, что интенсивность макси-

Таблица 6. Сравнение интенсивностей многолетних суточных колебаний расходов с колебаниями расходов наблюдаемых лет ($\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{сут}$)

| Характеристика половодья | Подъем | | | Спад | | |
|--------------------------|--------|-----|---------------|------|-----|---------------|
| | от | до | интенсивность | от | до | интенсивность |
| Высокое | | | | | | |
| Многолетнее | 15 | 520 | 505 | 5 | 308 | 303 |
| Наблюдаемое, 2007 г. | 7 | 357 | 350 | 4 | 291 | 287 |
| Отклонение, % | <53 | <31 | <31 | <20 | <6 | <5 |
| Низкое | | | | | | |
| Многолетнее | 5 | 180 | 175 | 2 | 90 | 88 |
| Наблюдаемое, 2006 г. | 2 | 115 | 113 | 5 | 163 | 158 |
| Отклонение, % | <60 | <37 | <36 | >60 | >45 | >55 |

мальных среднесуточных расходов для наблюдаемых лет высокой водности на подъеме значительно ниже, а для лет низкой водности на спаде – выше. Такие отклонения можно объяснить недостаточностью лет наблюдений и стохастической изменчивостью параметров половодий.

Моделирование половодий и управления максимальным стоком

В настоящее время является актуальной разработка методики определения оптимального режима регулирования максимального стока рек и наиболее рационального использования водных ресурсов в маловодные периоды. Безопасная трансформация максимальных расходов и оптимальное перераспределение годового стока являются актуальными для верхнего и среднего течений р. Белой. В связи с этим на основе полученных зависимостей динамики гидрологических характеристик рек в половодье разработана и проходит адаптацию первая ступень гидрологической модели регулирования стока среднего течения р. Белая.

Некоторыми отличительными особенностями данной модели в сравнении, например, с моделью [4] являются ее работа с уточненными критериальными гидрологическими характеристиками в связи с незавершенностью гидротехнических мероприятий в среднем течении реки Белая и использование ГИС-технологий при прогнозировании паводков.

Выводы

На основе наблюдений за период 2006–2011 гг. в створах Юмагузинского, Нугушского гидроузлов и г. Стерлитамака исследована динамика гидрологических характеристик зарегулированного стока половодий среднего течения р. Белой до створа г. Стерлитамака. Сопоставление наблюдаемых сроков прохождения пиков половодий за данный период с многолетними показывает, что за последние шесть лет сроки не сдвинуты и вписываются в средние многолетние.

Как правило, пик половодья в створе Нугушского гидроузла проходит раньше на 1–2 сут, чем в створе Юмагузинского гидроузла, что является удобным ориентиром для практического определения максимума расхода и принятия решений. Пики половодий в створах Юмагузинского гидроузла и г. Стерлитамака могут проходить почти одновременно или с разницей до 11 сут в зависимости от режима работы гидроузла и наложения метеофакторов.

Интенсивность максимальных среднесуточных расходов для наблюдаемых лет высокой водности на подъеме значительно ниже, а для лет низкой водности на спаде – выше. Такие отклонения можно объяснить недостаточ-

ностью лет наблюдений и необходимостью разработки методики прогнозирования динамики развития половодий.

Соотношения наблюдаемых объемов половодий к объемам годовых стоков выходят за рамки среднестатистических и имеют развитие. Поэтому требуется детальное изучение всех слагающих годового стока и половодья во взаимосвязи с зарегулированным режимом водотока. В связи с этим необходимы, в первую очередь, разработка гидрологической модели регулирования стока среднего течения р. Белой, а в дальнейшем – концепции регулирования стока рек Белой и Нугуш водорегулирующим комплексом, в состав которого входят Юмагузинский и Нугушский гидроузлы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов Р.Ф., Тюр В.А., Юров В.М. Юмагузинское водохранилище. Формирование гидрологического и гидрохимического режимов / под ред. Р.Ф. Абдрахманова. Уфа: Инфореклама, 2008. 152 с.
2. Орлов В.Г., Сикан А.В. Основы инженерной гидрологии: уч. пос. Ростов н/Д.: Феникс, 2009. 192 с.
3. ТЭО строительства Юмагузинского водохранилища на р. Белой в Республике Башкортостан. Раздел 1. Природные условия. Книга 1. Климат и гидрология. ООО ПКФ «ПРОМИВХ». Ростов н/Д. 2000. 112 с.
4. Перепелица Д.И., Ляхин Ю.С., Лепихин А.П., Тиунов А.А. Разработка схемы оптимизации использования Юмагузинского и Нугушского гидроузлов // Водное хозяйство России. 2009. № 2. С. 34–48.

Сведения об авторах:

Юров Владимир Михайлович, главный инженер, Государственное казенное учреждение Республики Башкортостан Юмагузинское водохранилище (ГКУ РБ Юмагузинское водохранилище), 453338, Республика Башкортостан, Кугарчинский район, д. Верхнебиккузино, ул. Набережная, д. 101; e-mail: gu_rb_uw@mail.ru

Хафизов Айрат Райсович, д. т. н., профессор, директор, Башкирский филиал ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (БашНИИВХ), 450097, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Бессонова, д. 27; e-mail: Chafizov@mail.ru

Кулыев Ирек Инсафович, начальник отдела, Государственное казенное учреждение Республики Башкортостан Юмагузинское водохранилище (ГКУ РБ Юмагузинское водохранилище), 453338, Республика Башкортостан, Кугарчинский район, д. Верхнебиккузино, ул. Набережная, д. 101; e-mail: gu_rb_uw@mail.ru

Габдуллин Рамис Тагирович, заведующий лабораторией, Государственное казенное учреждение Республики Башкортостан Юмагузинское водохранилище (ГКУ РБ Юмагузинское водохранилище), 453338, Республика Башкортостан, Кугарчинский район, д. Верхнебиккузино, ул. Набережная, д. 101; e-mail: gu_rb_uw@mail.ru