

## МЕЖГОДОВОЕ КОЛЕБАНИЕ ЗАРЕГУЛИРОВАННОГО РЕЧНОГО СТОКА ВЕРХОВЬЯ Р. УФА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

А.И. Второва<sup>1</sup>, Н.В. Мякишева<sup>2</sup>, д-р г-ф. наук, А.А. Горбатенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Отдел водных ресурсов по Челябинской области Нижне-Обского бассейнового водного управления, Челябинск, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## THE INTERANNUAL FLUCTUATION OF THE REGULATED RIVER FLOW OF THE UPPER REACHES OF THE RIVER UFA IN MODERN CONDITIONS

A.I. Vtorova<sup>1</sup>, N.V. Myakisheva<sup>2</sup>, Dr.Sc., G. N. Gorbatenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of water resources in the Chelyabinsk region of the lower Ob basin water management, Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup>Russian state hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*Проведен вероятностный анализ межгодовой изменчивости зарегулированного речного стока верховья р. Уфа с применением теории случайных процессов. Результаты анализа обобщены в терминах вероятностной модели. Оценена регулирующая способность водосбора и техногенных сооружений.*

*The probabilistic analysis of interannual variability of regulated river flow in the upper reaches of the Ufa river using the theory of random processes is carried out. The results of the analysis are generalized in terms of the probabilistic model. The regulatory capacity of the catchment area and man-made structures is estimated*

### **Введение.**

Интенсивное развитие экономики и роста городов напрямую зависит от увеличения потребления водных ресурсов. Для зарегулированных верховьев рек изменение режима водных объектов в современных условиях является закономерностью. Также наблюдается изменение климатических условий – факторов формирования гидрологического режима. Выявление его особенностей с учетом изменений климата и определение характерных отличий, возникших при антропогенном вмешательстве, в данных условиях особенно актуально.

### **Материалы и методы.**

Речной сток рассматривался как вероятностный полициклический процесс с основными энергонесущими зонами в диапазонах частот, соответствующих многолетним и внутригодовым колебаниям.

Для анализа многолетней изменчивости использовались ряды среднегодовых расходов и ежегодные последовательности значений для всех месяцев года, которые рассматривались как случайные процессы. Привлекался квантильный анализ данных и методы низкочастотной фильтрации Баттерворта [7].

В работе использовались ряды среднемесячных и среднегодовых расходов воды по данным наблюдения на гидропосту Росгидромета: р. Уфа-г. Нязепетровск за период с 1929 – 2017 гг. [1-5]. База данных о среднемесячных и среднегодовых расходах воды (притоки) к водохранилищам: Нязепетровское и Долгобродское была сформирована из информационного ресурса АИС ГМВО (автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов).

Для оценки климата анализировались данные о суммах осадков и среднемесячной и среднегодовой температуре воздуха по наблюдениям на метеостанции Нязепетровск, за период с 1926– 2006 гг. База данных была сформирована преимущественно с помощью публикаций издательств Гидрометеоиздат, «НЕДРА» и информационного ресурса meteo.ru.

### **Многолетние колебания водности реки.**

Река Уфа является одной из крупных рек Среднего и Южного Урала. В границах Челябинской области верховье реки Уфа зарегулировано водохранилищами. Долгобродское водохранилище расположено на 864 км от ее устья. Ведено в эксплуатацию в 1990 г., с объемом при нормальном подпорном уровне ( $W_{\text{НПУ}} - 333 \text{ млн. м}^3$ ). Коэффициент регулирования стока в год 95 % – 0,84. Нязепетровское водохранилище расположено на 792 км от ее устья. Ведено в

эксплуатацию 1979 г., с ( $W_{\text{НПУ}} - 153,44 \text{ млн.м}^3$ ). Коэффициент регулирования стока в год 95 % – 0,51.

Долгобродское водохранилище предназначено для переброски части стока р. Уфа в реку Миасс посредством насосной станции в Кыштымское водохранилище для восполнения дефицита в водохозяйственном балансе г. Челябинска и Челябинского промрайона.

Нязепетровское водохранилище предназначено для обеспечения объектов экономики в водоснабжении Свердловского промрайона, а также городов Нязепетровска и Верхнего Уфалея Челябинской области. Нязепетровское водохранилище является нижним в каскаде с Долгобродским на р. Уфе.

Увязка водохозяйственного баланса с различными режимами работы водохранилищ, включая Челябинскую водохозяйственную систему (Долгобродское, Кыштымское и Аргазинское водохранилища), не производилась.

По характеру питания р. Уфа относится к смешанному типу с преобладанием снегового питания. Водный режим реки характеризуется высоким весенним половодьем, неустойчивой летне-осенней и устойчивой зимней меженью.

Для оценки водности рек производился расчет квантилей: каждый временной ряд рассматривался как реализация случайного процесса  $x(t)$ , за основную вероятностную характеристику которого принималась функция распределения  $F(x_p)$  и ее квантили  $X_p$ . На основе пяти квантилей  $X_{\min}$ ,  $X_{0.25}$ ,  $X_{0.5}$ ,  $X_{0.75}$ ,  $X_{\max}$  оценивались  $R$  – размах,  $Q$  – интерквантильное расстояние,  $T^*$  - трехсреднее значение, а также  $X_B$  и  $X_H$  – верхняя и нижняя границы распределения данных в ряду.

Результаты квантильного анализа позволили определить, что многоводные и маловодные года в период с 1929 по 2017 гг. группируются в фазы водности продолжительностью 3-4 года. Многоводные и маловодные периоды составляют от 19 до 33 лет. В последние 10 лет наблюдается асинхронность колебаний: высокая водность сопровождается периодом низкой водности на реке до и после каскада водохранилищ многолетнего регулирования (рис. 1).

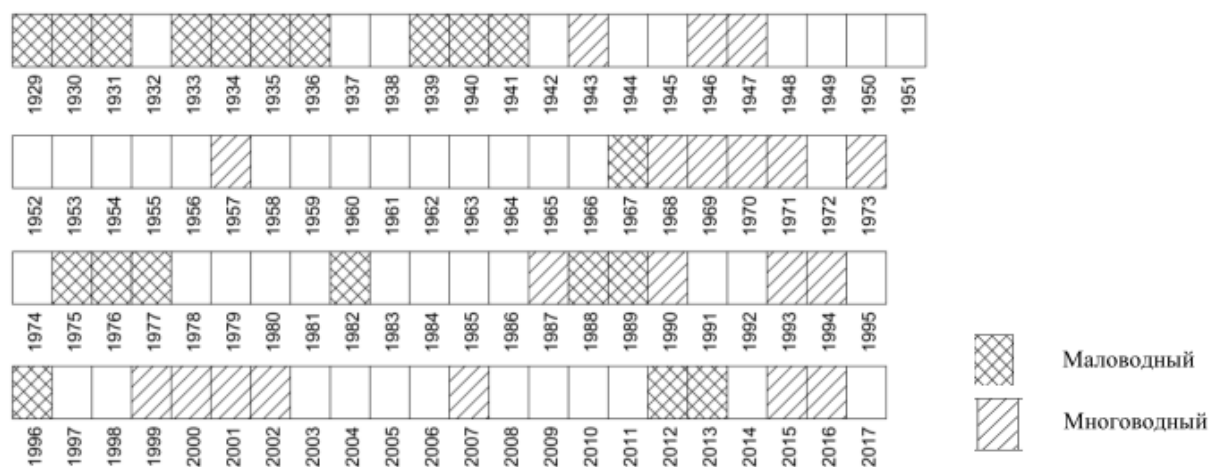


Рис. 1. Матрица водности в пункте после каскада водохранилищ р. Уфа – г. Нязепетровск

Для определения тенденции или тренда повышения или понижения значений временных рядов использовалась цифровая тангенсная низкочастотная фильтрация Баттерворта. Для расходов воды в пункте г/п после каскада водохранилищ характерен тренд на увеличение стока, который согласуется с трендом сумм осадков. Также согласуются квазициклы, которые выделяются низкочастотной фильтрацией. При детальном анализе выявлено, что проследить тенденцию к увеличению стока на г/п не представляется возможным, по причине глубокой зарегулированности реки. Тенденция по увеличению стока на г/п свойственна периоду с августа по декабрь, для осадков данный тренд прослеживается в эти же месяцы.

При анализе притоков воды к Долгобродскому водохранилищу выявлен значимый тренд на снижение стока. При детальном анализе выявлено, что тенденция снижения стока от года к году

наблюдается в период с мая по сентябрь. Однако квазициклы при анализе притоков воды к Нязепетровскому водохранилищу согласуются с квазициклами притоков к Долгобродскому водохранилищу. Их продолжительность составляет 10-12 лет и они проявляются как периоды локальной нестационарности - повышения и понижения расходов воды в течение 5-6 лет и обусловлено колебаниями сумм осадков. Для температуры воздуха теплого и холодного периодов характерен тренд на повышение. Тренд температуры воздуха на повышение имеет обратный тренду слоя стока ход, что логично: чем выше температура, тем больше испарение и меньше доля стока. Тренд снижения стока главным образом сформирован в рядах ежегодных данных за март и июль.

Фактором, формирующим квазицикличность процессов, являются атмосферные осадки. Внутригодное распределение характеристик отражает свойства рек восточно-европейского типа.

Реализация рассматриваемых гидрометеорологических характеристик представлены на рис. 2.

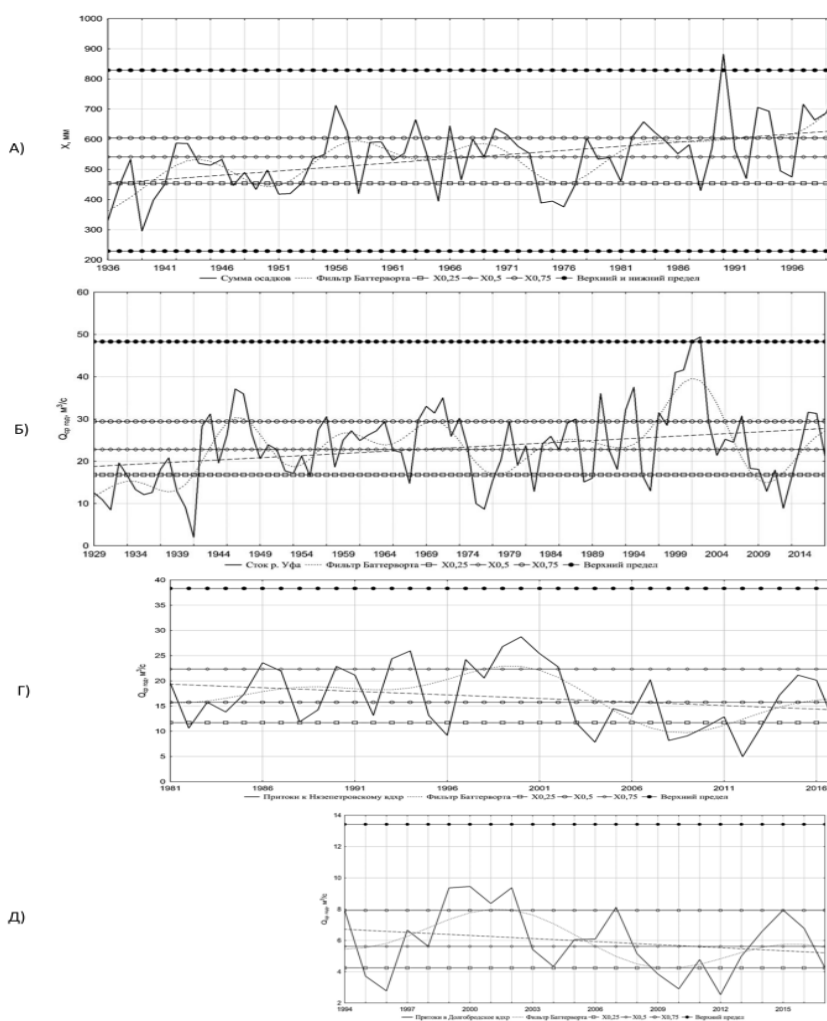


Рис. 2. Реализации гидрометеорологических характеристик , А) сток р. Уфа, Б) годовые суммы осадков МС Нязепетровск, Г) приток к Нязепетровскому водохранилищу, Д) Долгобродскому водохранилищу

Сопоставление расчетов доверительных параметров  $A_s$ , вычисленных по смоделированным нормальным рядам, показали, что по притокам к Долгобродскому водохранилищу прослеживается правая асимметрия, находящаяся в пределах  $A_s > 0,25$ . Статистические

характеристики многолетней изменчивости гидрометеорологических характеристик приведены в таблице 1.

Таблица 1. Статистические характеристики многолетней изменчивости гидрометеорологических характеристик

Наименование	А	Б	В	Г	Д
$\chi_{\min}$	296	-2	2,00	4,90	2,53
$\chi_{0.25}$	461	0,6	16,80	11,70	4,25
$\chi_{0.5}$	550	1,1	22,80	15,76	5,62
$\chi_{0.75}$	618	1,9	29,40	22,35	7,92
$\chi_{\max}$	882	5,7	49,40	28,74	9,45
R	586	7,7	47,40	23,84	6,92
P, мм	157	1,3	12,6	10,65	3,67
T*	545	1,2	22,95	16,39	5,85
$\chi_B$	854	3,85	48,3	38,33	13,43
$\chi_H$	226	-1,4	-2,1	-4,38	-1,26
0.74P	116	1,0	9,45	7,99	2,75
As	-0,07	0,08	0,02	0,12	0,49

А- осадки за год в мм, (МС Нязепетровск) (1926-2006г)

Б-среднегодовая температура(МС Нязепетровск) (1926-2000г)

В– среднегодовые расходы р. Уфа-г. Нязепетровск (1929-2017гг)

Г- среднегодовые притоки к Нязепетровскому водохранилищу на р. Уфа-г. (1981-2017гг)

Д- среднегодовые притоки к Долгобродскому водохранилищу на р. Уфа-г. (1993-2017гг)

Выборку по всем гидрометеорологическим характеристикам кроме притоков к Долгобродскому водохранилищу целесообразно считать симметричной, так как показатели стоковых характеристик находятся в пределах  $0,31 < A_s < 0,25$ .

Антропогенная нагрузка проявляется в разнице параметров, характеризующих внутригодовую коррелированность расходов в пункте г/п до и после каскада водохранилищ.

#### **Выводы.**

1. Сочетание естественных и антропогенных факторов при формировании водного режима реки проявляется по-разному. Тренды в изменении речного стока, в общем, соответствуют изменениям климата в бассейне. Также наблюдается согласованность циклов водности и осадков, но при этом прослеживается тренд на понижение стока в притоках к Долгобродскому водохранилищу, отсутствующий в осадках, но присутствует тренд на повышение в температуре. Антропогенное воздействие возможно отнести к сведению лесов.

2. В настоящее время в реальной водохозяйственной обстановке водные ресурсы р. Уфы в створе Долгобродского гидроузла для переброски части стока в бассейн р. Миасс до завершения ввода в эксплуатацию всего тракта подачи в Челябинский промрайон практически не используются, что приводит к значительному увеличению полезной отдачи Нязепетровского водохранилища (более  $7 \text{ м}^3/\text{с}$ ). В современных условиях Нязепетровское водохранилище и после ввода в эксплуатацию Долгобродского гидроузла осуществляет сезонное регулирование стока р. Уфы с  $F=2890 \text{ км}^2$ .

#### **Литература**

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11, Средний Урал и Приуралье [Текст] – Л.: Гидрометеиздат, 1973 – 848 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 11. Средний Урал и Приуралье, Выпуск 1, Кама – Л.: Гидрометеиздат, Л., 1967, 1975, 1979.

3. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, Том 1, РСФСР, Выпуск 25, Бассейн реки Камы [Текст] – Л.: Гидрометеиздат, 1988 – 706 с.
4. Гидрологический ежегодник. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Том 4. Выпуск 5-7, 1936-80 г.г.; Том 1 Выпуск 25, 1981-1999 г.г. Л., Свердловск, Обнинск.
5. Мякишева Н.В., Речной сток [Текст]// Гидрометеорология и гидрохимия морей. Балтийское море. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеиздат, 1994. – Т.Ш.Вып.1. – С.196-214
6. Мякишева Н.В., Трапезников Ю.А. Вероятностный анализ и моделирование речного стока водосборного бассейна Балтийского моря [Текст]//Режимообразующие факторы, гидрометеорологические и гидрохимические процессы в Балтийском море – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С.16-34
7. Мякишева Н.В., Второва А.И., Горбатенко А.А. Разномасштабная изменчивость водности рек России в современных условиях. I. Южный Урал. Река Ай//Естественные и технические науки, №2, 2018. - С.108-114
8. Мякишева Н.В., Второва А.И., Горбатенко А.А. Разномасштабная изменчивость водности рек России в современных условиях. I. Южный Урал. Река Юрюзань//Естественные и технические науки, №8, 2018. - С.102-108
9. Правила эксплуатации Нязепетровского водохранилища. Правила использования водных ресурсов. Эксплуатация водохранилища и гидротехнических сооружений. Отчет о гидрологических и водохозяйственных расчетах для проекта «Правил эксплуатации Нязепетровского водохранилища на р. Уфе у г. Нязепетровска». ОАО «Ур. ВКП», Екатеринбург, 2005.
10. Долгобродское водохранилище. Правила эксплуатации. Восточно-Сибирское отделение «Гидропроекта», Красноярск, 1989