

Г.Х. ИСМАЙЛОВ, Н.В. МУРАЩЕНКОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация»

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕК МОСКВОРЕЦКОЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

В качестве объектов исследований выбраны речные бассейны Москворецкой водохозяйственной системы (МВХС). МВХС используется для надежного и гарантированного водообеспечения Московского региона. На примере речных бассейнов МВХС проведён анализ и дана оценка цикличности многолетних колебаний естественного стока рек Рузы, Истры, Озерны и Москвы. Рекомендуется проводить оценку стационарности и нестационарности гидрологических рядов стока этих рек в увязке с естественно-климатическими изменениями и антропогенным воздействием на сток. Полученные результаты статистического сопряженного анализа временных рядов элементов водного баланса (ЭВБ) речных бассейнов МВХС позволяют усовершенствовать методику анализа, оценки и прогноза межгодовой изменчивости и взаимосвязи ЭВБ речных бассейнов МВХС. Это даст возможность выдавать как краткосрочные, так и долгосрочные прогнозы стока и водопотребления в Московском регионе, а значит – рациональнее управлять стоком вышеперечисленных рек как при пропуске высоких половодий, так и при выдерживании гарантированных попусков в нижних бьефах гидроузлов в маловодные годы.

Поверхностные водные ресурсы, Москворецкая водохозяйственная система, квазистационарность, климатическая система, сценарий, прогнозы.

Введение. В условиях современного социально-экономического развития и антропогенного потепления глобального климата оценка на долгосрочную перспективу возможных изменений водных ресурсов имеет исключительно большое значение для всех стран мира для их экономического развития, решения проблем водообеспечения, повышения уровня жизни населения и сохранения окружающей среды.

Особое значение такие оценки имеют для территории России, где происшедшие и ожидаемые изменения климата более чем в два раза превышают среднемировые показатели, и где в течение последних двух десятилетий прошлого столетия происходят кардинальные преобразования в социально-экономической сфере, которые не могут не влиять на формирование и использование водных ресурсов [1]. Исходя из этого, в современных условиях России для перспективной оценки изменений водных ресурсов необходимо учитывать следующие основные особенности. Нестандартная климатическая ситуация, начиная с 70-х годов прошлого столетия, весьма существенным образом сказалась на годовом и особенно на сезонном стоке рек и это необходимо принимать во внимание для

оценок на перспективу. Кардинальные изменения социально-экономической ситуации в стране привели к резкому падению промышленного и сельскохозяйственного производства, сокращению орошаемых и поливаемых площадей, уменьшению водопотребления на хозяйственные нужды и, соответственно, во многих регионах изменились условия формирования стока на водосборах рек. Произошло значительное сокращение численности населения. И все эти процессы имели место вот уже почти в течение двух десятилетий прошлого столетия и продолжают в настоящее время.

В статье излагаются результаты ретроспективного анализа и оценки изменения водных ресурсов, в частности, элементов водного баланса (ЭВБ) рек Москворецкой водохозяйственной системы (МВХС) и связь речного стока с определяющими его климатическими факторами.

Объект исследований. Объектом исследований является Москворецкая водохозяйственная система. В состав МВХС входят бассейны рек Москвы (створ Можайского гидроузла (г/у)), Рузы (створ Рузского г/у), Озерны (створ Озернинского г/у), Истры (створ Истринского г/у) и водосборы незарегулированного участка между створами

4-х гидроузлов и створом Рублевского г/у. МВХС является гидроузлами комплексного назначения и используется для целей водоснабжения, энергетики и защиты р. Москвы от наводнений.

Водохранилища гидроузлов несут большую рекреационную нагрузку, служат местом спортивного и любительского рыболовства, а Озернинское водохранилище используется и для рыбозаведения.

Таблица 1
Площадь водосбора рек МВХС до створа Рублевского гидроузла

Створы водохранилищ гидроузлов	Площадь в створе гидроузлов
Истринского	1010 км ²
Можайского	1360 км ² ,
Рузского	1150 км ²
Озернинского	738 км ²

Площадь водосбора на участке от створов вышеуказанных четырех гидроузлов до створа Рублевского гидроузла (незарегулированный участок), $F = 4258$ км². Соответственная суммарная площадь рек МВХС с учетом незарегулированного участка, $F = 7530$ км².

Основным назначением водохранилищ МВХС является регулирование стока р. Москвы и ее наиболее крупных притоков Рузы, Озерны и Истры в целях водобеспечения Московского мегаполиса. Суммарный полезный объем Можайского, Рузского, Озернинского и Истринского водохранилищ позволяет осуществлять многолетнее регулирование стока соответственно рек Москвы, Рузы, Озерны и Истры при компенсированном регулировании боковой приточности на участке от створов вышеуказанных четырех гидроузлов до створа Рублевского гидроузла на р. Москве.

Исходные положения. Основная цель настоящей статьи заключается в исследовании пространственно-временной закономерности и взаимосвязи элементов водного баланса (атмосферные осадки, речной сток, суммарное испарение, объем влагозапасов и температура воздуха) на водосборах рек бассейна Москворецкой ВХС за период 1914/15-2010/11 годы ($n = 97$ лет) при непрерывно-изменяющихся природно-хозяйственных условиях. Для выполнения поставленной задачи необходимо было формировать расчетные гидрометеорологические временные ряды по элементам водного ба-

ланса рассматриваемой МВХС. С этой целью в качестве базисной нами была использована следующая исходная гидрометеорологическая информация:

1. календарные временные ряды среднемесячных значений атмосферных осадков за период 1966-2016 годы взяты с официального сайта www.meteo.ru (Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных);

2. календарные временные ряды среднемесячных значений температуры воздуха за период 1901-2016 гг. взяты с официального сайта www.meteo.ru (Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных);

3. водохозяйственные временные ряды естественных (восстановленных) среднемесячных значений расходов воды за период 1914/1915-2010/2011 гг. взяты с официального сайта www.hydroproject.ru (Всероссийский проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» С.Я. Жука).

Следует отметить, что временные ряды атмосферных осадков и температуры воздуха были взяты из наблюдений метеостанции № 26499 г. Старица, привязана к речным водосборам Рузского и Озернинского г/у; метеостанции № 27509 г. Можайск, привязана к речному водосбору Можайского г/у; № 27612 г. Москва (ВДНХ), привязана к речному водосбору Истринского г/у и метеостанции № 27625 г. Коломна привязана к площади водосбора на участке между 4-мя гидроузлами МВХС и Рублевским гидроузлом.

Данные, по годовым и сезонным (половодья и межень) суммарным испарениям по водосборам рек МВХС, определены специальным методическим положением, приведенным в работе [1].

Используя указанную методику, получены расчетные временные ряды годовых и сезонных значений суммарного испарения с водосбора рек МВХС за период 1914/1915-2010/2011 гг. Для приведения многолетнему периоду (1914/1915-2010/2011) имеющихся базисных данных среднемесячных значений атмосферных осадков и температуры воздуха использованы методы статистических испытаний (метод Монте-Карло) и корреляционного уравнения. В качестве аналога для корреляционного уравнения ис-

пользованы суммарные атмосферные осадки и температура воздуха частного водосбора Ивановского г/у бассейна р. Волги, а в качестве метода статистических испытаний использован метод двойных фрагментов [2]. Таким образом, полученные искусственные удлиненные календарные временные ряды среднемесячных значений атмосферных осадков и температуры воздуха были трансформированы в удлиненные многолетние водохозяйственные ряды по укрупненным фазам водности (год, половодье, межень) за период 1914/15-2010/11 гг.

Методика исследования. В соответствии с целью исследования методика исследований включает в себя следующие вопросы:

1. вычисление статистических характеристик ЭВБ;
2. оценка изменений годовых и сезонных значений ЭВБ за многолетний период;
3. оценка статистической значимости линейного тренда ЭВБ;
4. оценка цикличности изменения ЭВБ;
5. оценка статистической однородности временных рядов ЭВБ.

Для вычисления статистических характеристик ЭВБ используются три метода: метод наибольшего правдоподобия, метод моментов или графо-аналитический метод Г.А. Алексева. В качестве статистической характеристики ЭВБ вступают: среднемноголетнее значение ЭВБ (X_0), среднеквадратическое отклонение (s_x), изменчивость (вариация) (C_v), коэффициент асимметрии (C_s) и коэффициент автокорреляции ($r[1]$). Методы вычисления C_v и C_s зависят от коэффициента изменчивости: а) при $C_v < 0.5$ применяется метод моментов; б) при $C_v > 0.5$ используется метод наибольшего правдоподобия, в) графо-аналитический метод применяется в случае использования биномиальной кривой обеспеченности при любом значении C_v . Для исследования внутрирядных и межрядных связей между ЭВБ используются основные положения корреляционного и дисперсионного анализа [3].

При изучении динамики колебания ЭВБ, как часто принято, выделяются однонаправленные изменения рассматриваемых характеристик под действием одного или нескольких факторов в течение какого-либо периода, называемые *трендами*. В нашем случае такая однонаправленная тенденция изменения среднемноголетнего

значения ЭВБ выявлена с помощью линейного тренда. Линейный тренд в общем виде имеет следующий вид:

$$X(t) = a_0 + a_1 t, \quad (1)$$

где: $X(t)$ – среднегодовое значение ЭВБ; t – наблюдаемый порядковый номер; a_0 и a_1 – регрессионные коэффициенты.

Для оценки статистической значимости линейного тренда рассматриваемых ЭВБ использован метод коэффициента корреляции, учитывающий связь между значениями временного ряда (x) и порядковыми номерами членов ряда (i).

$$\hat{r}_{x,i} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{i})}{(n-1)\hat{\sigma}_x \sigma_i}, \quad (2)$$

где x_i – i -е значение ЭВБ рассматриваемого временного ряда; \bar{x} – среднемноголетнее значение ЭВБ; i – порядковый номер члена ряда ЭВБ; \bar{i} – среднearифметическое значение, полученное из порядковых номеров членов ряда ЭВБ; $\hat{\sigma}_x, \sigma_i$ – среднеквадратические отклонения значений временного ряда ЭВБ и их i -й порядковый номер. Если $r_{x,i} \leq 0,3$, $\hat{r}_{x,i} \leq 0,3$ – статистическая связь между двумя рядами признается слабой; если $0,3 \leq r_{x,i} \leq 0,7$ – статистическая связь признаётся средней и, наконец, если $r_{x,i} \geq 0,7$ высокая степень статистической связи.

Особенностью современного климата является повышение температуры воздуха наиболее заметное с конца XX века и продолжающееся в начале XXI в. Созданная при ООН межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в своем Пятом докладе отмечает, что за последнее столетие температура воздуха на планете увеличилась на 0,75°C/100 лет. Для России за этот же период наблюдалось еще более заметное потепление, которое составило 1,29°C/100 лет. Межправительственная группа экспертов по изменению климата в своем докладе отмечает, что изменение температуры воздуха в XX веке происходило не вполне однородно. Выделяют три периода изменения температуры воздуха: 1901-1932 гг. – период потепления; 1933-1972 гг. – период постепенного похолодания; 1973-2014 гг. – период интенсивного повышения температуры воздуха.

В многолетних колебаниях ЭВБ имеются циклические изменения, отражающие колебательный характер свойственный этому процессу. Под циклическими колебаниями ЭВБ понимают последовательную смену периодов повышения и понижения значений рассматриваемых характеристик. Для

оценки циклических колебаний ЭВБ применяют разностные интегральные кривые, которые строят по следующей зависимости:

$$\sum_{i=1}^n (k_i - 1) = f(t), \quad (3)$$

где k_i – модульный коэффициент, рассматриваемого ЭВБ. Определяется как отношение значения ЭВБ i -ого года (x_i) к её среднемноголетнему значению (x).

При оценке ЭВБ немаловажным вопросом является установление однородности (неоднородности) условий их формирования. Для этой цели в работе используются два критерия: критерий Стьюдента (t -критерий) и критерий Фишера (F -критерий). Критерий Стьюдента оценивает однородность средних значений двух рассматриваемых рядов, а критерий Фишера – однородность дисперсий двух временных рядов. При этом критические значения критерия Стьюдента (t -критерия) и критерия Фишера (F -критерия) сопоставляются с их расчетными значениями.

Результаты исследований. Анализ распределения среднемноголетних значений элементов водного баланса по фазам водности за период 1914/1915-2010/2011 гг. (97 лет) показал, что за год в целом доля речного стока от суммарных атмосферных осадков с водосбора МВХС составляет порядка 30%, что более чем в два раза меньше доли суммарного испарения (67%). Доля влагозапасов за этот период составляет чуть более 2% (рис. 1). За период половодья и межени эти показатели соответственно составляют 40,5, 59,4, 0,10 и 22,4, 73,4, 4,2%. Как видно из этих цифр, в период половодья доля речного стока в слое суммарных атмосферных осадков составляет 40,5%, а доля суммарного испарения – 59,4%. Доля влагозапасов за этот период ничтожна (0,04). В период межени доля речного стока в слое суммарных атмосферных осадков составляет порядка 22,4%, что почти в четыре раза меньше доли суммарного испарения (73,4%). Доля влагозапасов при этом возрастает до 4,2%.

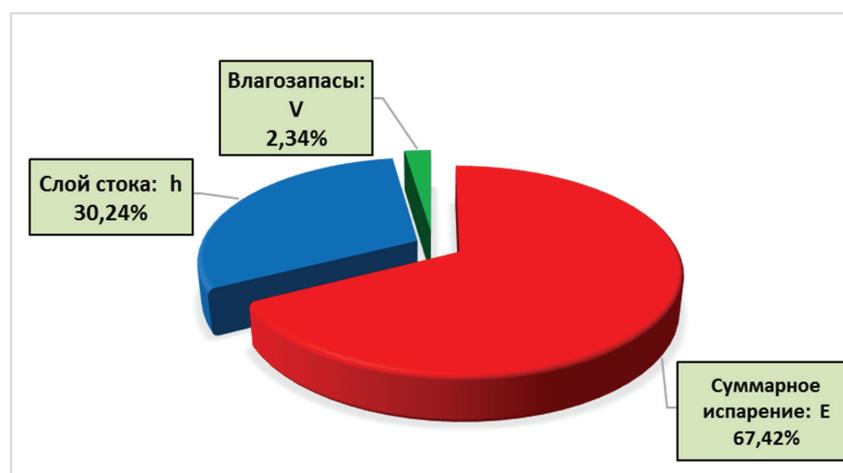


Рис. 1. Среднемноголетняя доля элементов водного баланса в годовом (III – II) слое суммарных атмосферных осадков на водосборе Москворецкой водной системы в бассейне р. Москвы за период 1914/1915-2010/2011 гг. (97 лет)

Анализ статистических параметров гидрометеорологических рядов ЭВБ в речном бассейне МВХС показал (табл. 2), что элементы водного баланса в зависимости от фазы водности варьируются в широких пределах (0,12-0,44).

Это связано с такими быстро изменяющимися элементами водного баланса, как атмосферные осадки и суммарное испарение, так и инерционными составляющими, как естественный поверхностный сток, влагозапасы водосбора и температура воздуха.

При этом наибольшее варьирование стока наблюдается в меженный период ($C_v=0,45$), в то время как наибольшее варьирование испарения ($C_v=0,44$) и температуры воздуха ($C_v=0,40$) наблюдается в период половодья. Варьирование атмосферных осадков как в межень, так и в период половодья практически одинаково (0,14-0,15).

Анализ матрицы парных коэффициентов корреляции между ЭВБ показывает, что годовой сток в первую очередь зависит от суммарных атмосферных осадков

($r_{h/P}=0,63$) и бассейновых влагозапасов ($r_{h/V}=0,75$). Достаточно тесная корреляционная связь обнаруживается также между испарением с поверхности суши и суммарными атмосферными осадками ($r_{E/P}=0,87$), и бассейновыми влагозапасами ($r_{E/V}=0,79$), и температурой подстилающей поверхности теплого периода ($r_{E/t}=0,78$). Слабая корреляционная связь установлена между годовым стоком

и суммарным испарением с поверхности суши ($r_{h/E}=0,22$). В период половодья выявляется слабая связь речного стока с суммарными атмосферными осадками ($r_{h/P}=0,31$) и бассейновыми влагозапасами ($r_{h/V}=0,20$). В период межени, наоборот, выявляется достаточно тесная связь между суммарными атмосферными осадками и речным стоком ($r_{h/P}=0,65$) и бассейновыми влагозапасами ($r_{h/V}=0,78$).

Таблица 2

Статистические параметры гидрометеорологических рядов ЭВБ на водосборе МВХС в бассейне р. Москвы за период 1914/1915-2010/2011 гг.

Элементы водного баланса	Статистические параметры					
	X_0	σ_{x_0}	C_v	C_s/C_v	ε_{x_0}	ε_{Cv}
Год в целом						
Атмосферные осадки: P, мм	649	72	0,12	2,0	1,3	7,2
Суммарное испарение: E, мм	438	78	0,18	2,0	1,8	7,3
Слой стока: h, мм	196	47	0,24	2,0	2,8	7,5
Влагозапасы: V, мм	15	28	–	2,0	–	–
Температура воздуха: t, °C	4,4	1,1	0,25	2,0	3,2	7,7
Половодья						
Атмосферные осадки: P, мм	280	38	0,14	2,0	1,4	7,2
Суммарное испарение: E, мм	166	74	0,44	2,0	4,1	8,0
Слой стока: h, мм	113	34	0,30	2,0	3,0	7,5
Влагозапасы: V, мм	0	37	–	2,0	–	–
Температура воздуха: t, °C	4,5	1,8	0,40	2,0	5,0	8,0
Межень						
Атмосферные осадки: P, мм	369	51	0,15	2,0	1,7	7,3
Суммарное испарение: E, мм	271	56	0,21	2,0	2,1	7,3
Слой стока: h, мм	83	37	0,45	2,0	5,1	8,0
Влагозапасы: V, мм	15	21	–	2,0	–	–
Температура воздуха: t, °C	4,3	1,2	0,29	2,0	3,1	7,5

Анализ кривых колебаний ЭВБ на водосборе МВХС за рассматриваемый период показал, что за год в целом, несмотря на тенденцию увеличения среднемноголетних атмосферных осадков, имеет место тенденция незначительного уменьшения речного стока и влагозапасов речного бассейна. В то же время наблюдается тенденция увеличения суммарного испарения, что связано с увеличением температуры воздуха. В период половодья имеет место тенденция на снижение атмосферных осадков и, как следствие, уменьшение речного стока и объема влагозапасов в речном бассейне. Наблюдается тенденция на увеличение температуры воздуха и связанного с ней суммарного испарения, на долю которого приходится значительная доля в структуре атмосферных осадков. В меженный период имеет место тенденция на увеличение осадков и, как

следствие, увеличение речного стока и объемов влагозапасов.

Как видно из рисунка 2, к концу семидесятых годов XX века изменилась климатическая обстановка в бассейнах рек МВХС. Это объясняется тем, что происходит наиболее сильное потепление климата с конца 70-х годов XX века и продолжается до настоящего времени, что является основанием для объяснения повышенного стока периода межени и понижения стока весеннего половодья бассейна рек МВХС. Для более глубокого анализа колебаний ЭВБ и для выявления наличия различных циклов смены водности бассейнов рек МВХС были построены и анализированы разностные интегральные кривые гидрометеорологических рядов ЭВБ на водосборе МВХС за период 1914/1915-2010/11 (97 лет). В результате установлено следующее. Многолетним коле-

баниям годовых и сезонных составляющих водного баланса свойственно чередование маловодных и многоводных лет и их групп. С 30-х годов и до 1977 года происходит устойчивое снижение атмосферных осадков как в годовом разрезе, так в периоды половодья и межени, а с 1978 года наблюдается рост атмосферных осадков. Аналогичная тенденция наблюдается в колебаниях годового и меженного стока, что нельзя сказать о стоке периода весеннего половодья. Обнаруживаются наличие трёх локальных циклов водности: первый цикл: 1914/15-1925/26 гг.

продолжительностью 12 лет; второй цикл: 1926/27-1975/76 гг. продолжительностью 50 лет; третий цикл: 1976/77-2010/11 гг. продолжительностью 35 лет. Также установлены два глобальных цикла изменения водности: первый цикл: 1914/15-1975/76 гг. продолжительностью 62 года; второй цикл: 1976/77-2010/11 гг. продолжительностью 35 лет. При этом точки перелома глобальных циклов атмосферных осадков, суммарного испарения и объема влагозапасов корреспондируют аналогично точки перелома речного стока (1976/77 гг.).

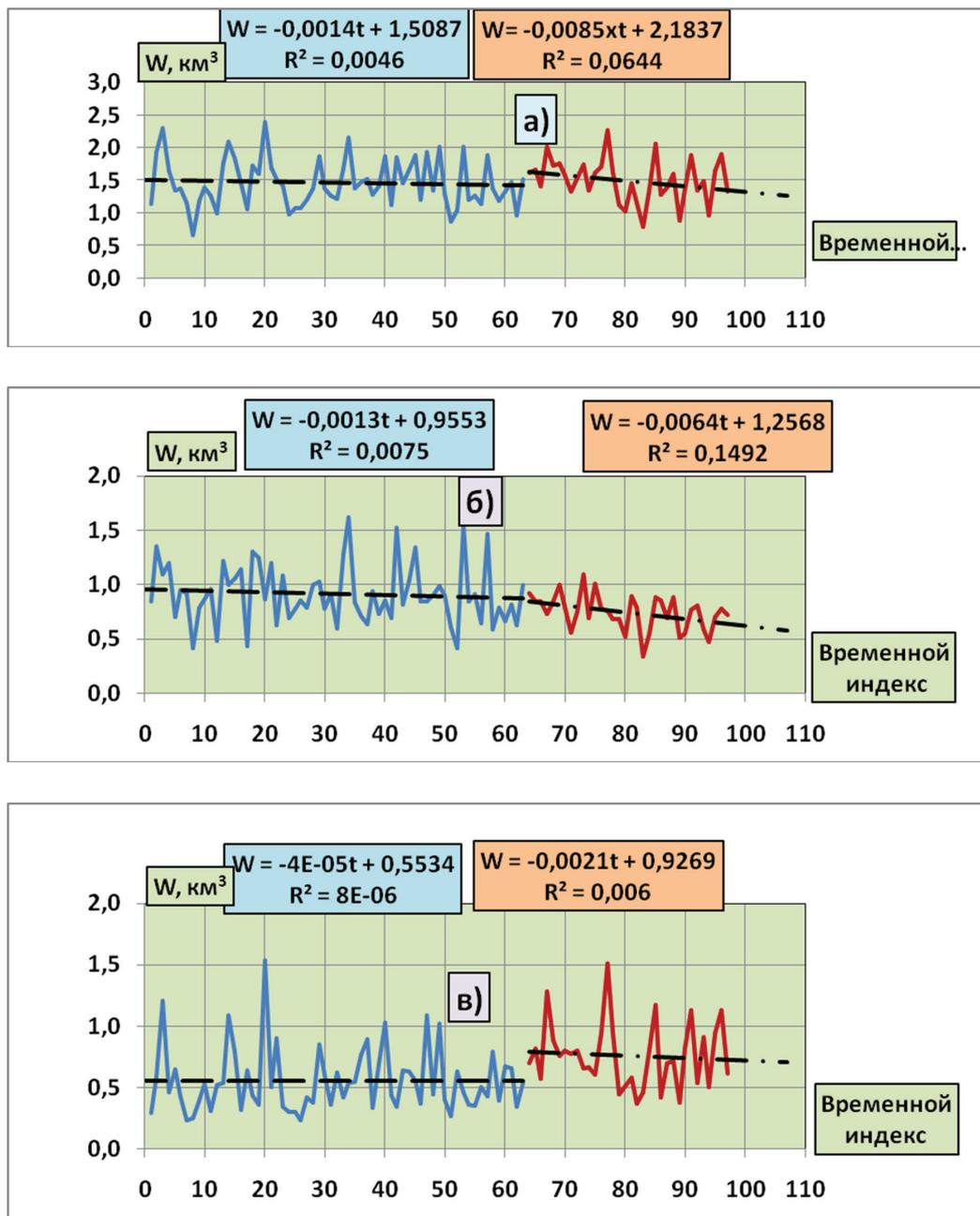


Рис. 2. Колебание естественных годовых и сезонных объёмов стока рек Москворецкой водохозяйственной системы до 1978 года (1914/15-1976/77 гг., слева, n = 63 года) и после 1978 года (1977/78-2010/11 гг., справа, 34 года): а) за год (III-II); б) за весеннее половодье (III-V); в) за межень (VI-II)

Особо следует отметить, что экстремальные точки перелома разностных интегральных кривых температуры воздуха предшествуют аналогичным экстремальным точкам подобных кривых других элементов водного баланса, опережая их на 3-4 года. Другими словами, гидрометеорологическая система речного бассейна МВХС инерционно реагирует на среднемноголетнее изменение температуры воздуха со сдвигом в 3-4 года, что позволяет заблаговременно осуществлять прогноз изменения водохозяйственной обстановки и проводить подготовку к осуществлению адекватных водохозяйственных мероприятий в речном бассейне МВХС.

Также следует отметить, что в период половодья и межени четкого разделения на глобальные циклы не наблюдается. Другими словами, имеет место один полный цикл водности на всем интервале исследуемого периода (1914/15-2010/11 гг.). При этом в период половодья конфигурация разностных интегральных кривых речного стока и температуры воздуха носит синхронный характер, а кривые атмосферных осадков, суммарного испарения и объема влагозапасов асинхронны им (находятся в противофазе), хотя они и синхронны между собой. В период межени практически все разностные интегральные кривые элементов водного баланса (атмосферные осадки, речной сток, суммарное испарение, объем влагозапасов и температура воздуха) имеют синхронный характер.

Для выявленных двух глобальных циклов водности проведена оценка однородности гидрометеорологических рядов элементов водного баланса в речном бассейне МВХС посредством проверки гипотезы о равенстве средних значений двух выборок из генеральной совокупности при их известных дисперсиях с помощью критерия Стьюдента [3].

Анализ полученных результатов показал, что полной однородности гидрометеорологических рядов элементов водного баланса для выявленных глобальных циклов водности не наблюдается. Так, для года в целом для выявленных глобальных циклов водности по атмосферным осадкам, суммарному испарению и температуре воздуха (по всей совокупности метеорологических параметров атмосферы) однородность рядов отсутствует ($t_{\text{набл}} > t_{\text{кр}}$ при уровне значимости $\alpha = 0,1$ (90% доверительный интервал)),

а для рядов речного стока и объема влагозапасов как интегральных показателей вышеуказанной совокупности метеорологических факторов однородность имеет место ($t_{\text{набл}} < t_{\text{кр}}$ даже при уровне значимости $\alpha = 0,05$ (95% доверительный интервал)).

Что касается половодья для выявленных глобальных циклов водности по атмосферным осадкам, суммарному испарению и объему влагозапасов однородность рядов имеет место ($t_{\text{набл}} < t_{\text{кр}}$ при уровне значимости $\alpha = 0,1$ (90% доверительный интервал)), а для рядов речного стока и температуры воздуха однородность отсутствует ($t_{\text{набл}} > t_{\text{кр}}$ при уровне значимости $\alpha = 0,1$ (90% доверительный интервал)).

В период межени для выявленных глобальных циклов водности по всей совокупности исследуемых гидрометеорологических параметров за исключением суммарного испарения однородность рядов отсутствует ($t_{\text{набл}} > t_{\text{кр}}$ при уровне значимости $\alpha = 0,1$), а для суммарного испарения она имеет место ($t_{\text{набл}} < t_{\text{кр}}$).

Неоднородность гидрометеорологических рядов по выявленным двум глобальным циклам водности (62 года и 35 лет), по-видимому, может быть связана как с изменением с течением времени климатических факторов атмосферы (атмосферные осадки, температура воздуха), так и с антропогенной деятельностью в речном бассейне МВХС (распашка территорий, крупномасштабное градостроительство, урбанизация и др.).

Выводы

1. Сопряженный анализ межгодовой и сезонной изменчивости и взаимосвязи ЭВБ (атмосферные осадки, суммарное испарение, естественный сток и бассейновые влагозапасы, включая температуру воздуха) в речных бассейнах МВХС за рассматриваемый период выявило наличие статистически значимых изменений в их колебаниях и межгодовых связях. Это позволяет сделать вывод о нестационарности гидрометеорологических условий в целом на их водосборах или о стационарности стокового процесса лишь на отдельных отрезках периода наблюдений.

2. Наличие нестационарности можно объяснить как изменением естественно-климатических условий (сменой типа атмосферной циркуляции), так и хозяйственной деятельностью как внутри региона (на-

пример, распашка с/х земель и связанное с этим увеличение испарения с поверхности почвы и, как следствие, сокращение стока), так и в планетарном масштабе (парниковый эффект).

3. Полученные результаты статистического сопряженного анализа временных рядов ЭВБ позволяют усовершенствовать методику анализа, оценки и прогноза межгодовой изменчивости и взаимосвязи элементов водного баланса речных бассейнов водосбора МВХС.

Библиографический список

1. Исмаилов Г.Х., Фёдоров В.М. Прогноз состояния пресноводных ресурсов России в связи с глобальными и региональными изменениями. // Природообустройство: научно-практический журнал. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2013. – № 1. – С. 60-64.

2. Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 296 с.

3. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007. – 279 с.

Материал поступил в редакцию
01.11.2017 г.

Сведения об авторах

Исмаилов Габил Худуш оглы, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19; тел. 8(499) 9762368; e-mail: gabil-1937@mail.ru

Муращенко Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока»; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19; тел. 8(499) 9762368; e-mail: splain75@mail.ru

G.KH. ISMAIYLOV, N.V. MURASCHENKOVA

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Timiryazev State Agrarian University». Moscow

RETROSPECTIVE ANALYSIS AND ESTIMATION OF VARIABILITY OF SURFACE WATER RESOURCES OF RIVERS OF THE MOSKVORETSKY WATER RESOURCES SYSTEM

The river basins of the Moskvoretsky water management system (MWMS) are presented as research objects. MWMS is used for a reliable and guaranteed water supply of the Moscow region. By the example of the river basins of the MWMS there was carried out an analysis and assessed the cyclicity of the long-term fluctuations in the natural run-off of the rivers Ruza, Istra, Ozerna and Moskva. It is recommended to assess the stationarity and nonstationarity of hydrological runoff series of these rivers in conjunction with natural and climatic changes and anthropogenic impact on the runoff. The results of the statistical conjugate analysis of the time series of the elements of the water balance (EWB) of river basins MWMS make it possible to improve the methodology for analyzing, assessing and forecasting the interannual variability and interrelationship of elements of the water balance of river basins. This will make it possible to issue both short-term and long-term forecasts of the runoff and water consumption in the Moscow region which means that it is more rational to manage the run-off of the above-mentioned rivers, both during the passage of high floods and when maintaining guaranteed discharges in the lower ponds of hydroelectric complexes in low-water years.

Surface water resources, Moskvoretsky water management system, quasi-stationarity, climate system, scenario, forecasts.

References

1. Ismaiyllov G.Kh., Fedorov V.M. Prognoz sostoyaniya presnovodnykh resursov Rossii v svyazi s globalnyimi i regionalnyimi izmeneniyami. // Prirodoobustroystvo: nauchno-praktichesky zhurnal. – M.: FGOU VPO MGUP. – 2013. – № 1. – S. 60-64.

2. Svanidze G.G. Matematicheskoe modelirovanie gidrologicheskikh ryadov. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. – 296 s.

3. Sikan A.V. Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informatsii. – SPb.: Izd-vo RGGMU, 2007. – 279 s.

The material was received at the editorial office 01.11.2017

ul. Pryanishnikova.19; tel. 8(499) 976-23-68; e-mail: gabil-1937@mail.ru

Information about the authors

Ismailyov Gabil Khudushevich, doctor of technical sciences, professor, head of the chair «Hydrology, hydrogeology and runoff regulation» FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow,

Muraschenkova Natalya Vladimirovna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair «Hydrology, hydrogeology and runoff regulation» FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova.19; tel. 8(499) 976-17-45; e-mail: splain75@mail.ru

УДК 502/504: 532.5

DOI 10.26897/1997-6011/2018-3-23-30

Д.С. БЕГЛЯРОВ, АЛИ МУНЗЕР СУЛЕЙМАН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НАПОРНЫХ СИСТЕМАХ ВОДОПОДАЧИ С УЧЕТОМ УСТАНОВКИ РАЗРЫВНЫХ МЕМБРАН НА ОБЪЕКТЕ «ЭЛЬ-БАБ» В СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Действенность и качество водохозяйственных и мелиоративных сетей во многом зависит от степени точности при их расчете. Опыт по проектированию и использованию напорных сетей подачи воды указывает на то, что в определённые периоды внутреннее давление вполне может превышать нормальное рабочее, а в некоторых случаях – весьма значительно. Переходные процессы в этом случае могут сопровождаться ударами гидравлического типа. Итак, для того, чтобы обосновать показатели прочности системных элементов, помимо расчетов стационарных режимов следует проводить расчеты по переходным процессам. С целью обоснования подбора комбинированных защитных средств для напорных сетей подачи воды от гидравлических ударов, выполнены расчётные теоретические исследования. При этом показано, что выполнение расчетов сериями по примеру конкретных водохозяйственных объектов считается самым перспективным методом изучения переходных процессов при условии изменения их определяющих величин в широких рамках. Математическая модель, созданная на базе теоретического обобщения актуальных методов расчета, представила возможность проводить с требуемым уровнем точности расчеты переходных процессов в напорных сетях подачи воды, имеющих оросительные насосные станции (к примеру, объект PS-1 в САР), учитывая монтаж на трубопроводах различных конструкций разрывных мембран в качестве защитного средства от критических повышений давления на отдельных участках систем.

Насосная станция, напор, защитные средства от гидравлических ударов, переходные процессы, специальные клапаны для запуска и заземления воздуха, мембрана, расход, прямая и обратная волны

Введение. С целью защиты магистральных водоводов и различных разветвленных сетевых оросительных систем используются разные противоударные устройства. Учитывая огромные убытки, которые нередко становятся последствиями разрывов труб в результате воздействия гидравлических ударов, в ряде случаев оросительные сети вместе с противоударными клапанами,

воздушными гидравлическими колпаками и прочими подобными средствами [1] необходимо оснащать, самыми простыми аварийными предохранительными приборами: специальными разрывными мембранами, клапанами, имеющими срезной палец и прочими. Их без излишних затрат можно монтировать неподалеку от насосной станции и в иных достаточно безопасных местах. Цена монта-