

УДК 502/504.064.2

Г. Х. ИСМАЙЛОВ, Н. В. МУРАЩЕНКОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА ПОЛОВОДЬЯ И МЕЖЕНИ БАСЕЙНА РЕКИ ВОЛГИ*

Приведены результаты анализа и оценки изменчивости элементов водного баланса за периоды весеннего половодья и межени по 11 частным водосборам и в целом по бассейну реки Волги. В бассейне Волги выделены четыре водохозяйственных района по условиям стационарности основных статистических параметров элементов водного баланса, а также их внутрирядной и межрядной связи. Рассматривается динамика изменчивости элементов водного баланса реки Волги в пространстве и во времени. Получены уравнения связи, определяющие значения речного стока за периоды половодья и межени от определяющих их климатических факторов.

Элементы водного баланса, бассейн реки Волги, межгодовая изменчивость, половодье, межень, климат, автокорреляционная функция.

The results of the analysis and assessment of changeability of water balance elements for the periods of spring high water and low water on 11 private reservoirs and in whole on the Volga river basin are given. In the Volga river basin four water-economic areas are singled out according to the conditions of stability of basic statistical parameters of water balance elements and also their inner and inter series connection. There is also considered a dynamics of variability of elements of water balance of the river Volga in space and in time. The equations of relationship are received which determine values of the river flow for the periods of high and low water depending on climatic factors.

Elements of water balance, the Volga river basin, interannual changeability, high water, low water, climate, autocorrelation function.

Формирование элементов водного баланса (ЭВБ) в бассейнах как крупных, так и малых рек в естественных условиях происходит во взаимодействии климатических и остальных физико-географических (ландшафтных) факторов. Климатическая зональность в общем случае определяет тип водного режима территории речного бассейна, но изменение режима в многолетнем разрезе, по генетическим фазам, по условиям формирования и амплитуде колебаний ЭВБ зависит во многом от внутризональной дифференциации, обусловленной

азональными факторами и ландшафтной структурой бассейна. Речной бассейн рассматривается как совокупность различных естественных и антропогенно-измененных ландшафтов, каждый из которых вносит свой качественный и количественный вклад в формирование ЭВБ. При различных режимах увлажнения и антропогенных нагрузок на ландшафт происходит перестройка структуры водного баланса территории. В свою очередь, закономерное сочетание ландшафтных комплексов определяет общий характер влагооборота в бассейне.

Пространственную изменчивость ЭВБ можно рассматривать в разных аспектах: как изменчивость отдельных характери-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-00193а).

стик ЭВБ (их статистических параметров, годовых, сезонных, месячных значений и т.д.) по территории бассейна; изменчивость тех же характеристик в зависимости от локальных особенностей климата, от отдельных элементов ландшафта, от степени антропогенных нагрузок в различных частях бассейна. Количественные характеристики изменчивости ЭВБ за многолетний период рассмотрены в двух аспектах: интегральные, отражающие суммарную изменчивость временных рядов ЭВБ, и динамические, отражающие колебания ЭВБ за конкретный отрезок времени.

Различное сочетание климатических и неклиматических факторов, включая и антропогенные, и определяет многообразие реакции речных водосборов на одни и те же осадки. Поэтому при рассмотрении пространственной изменчивости ЭВБ в первую очередь выделяются районы, однородные по структуре водного баланса (ВБ) и многолетней динамике его элементов. Формальной основой такого районирования может служить матрица взаимной корреляции временных рядов ЭВБ принятых к рассмотрению частных водосборов.

Для выделенных районов, однородных по структуре ВБ и динамике его элементов, затем осуществляется поиск наиболее значимых зависимостей характеристик ЭВБ от определяющих их природно-хозяйственных факторов. Параметры таких зависимостей отражают специфику природно-хозяйственных условий отдельных регионов и, в свою очередь, могут быть поставлены в зависимость от тех или иных интегральных факторов, демонстрирующих данную специфику. Это открывает возможность

оценки изменения параметров районных зависимостей ЭВБ от определяющих их факторов для различных сценариев возможных изменений данных факторов в будущем и, как следствие, изменения собственно ЭВБ частных водосборов и бассейна в целом.

Для выявления пространственно-временных закономерностей изменения ЭВБ речных бассейнов авторами получены временные ряды за период с 1914/1915 по 2000/2001 годы ($n = 87$ лет) основных элементов водного баланса (речной сток, атмосферные осадки, суммарное испарение и бассейновые влагозапасы) по 11 частным водосборам бассейна реки Волги за период половодья, межени и года в целом [1,2]. Разумеется, наличие столь длительных временных рядов позволило осуществить оценку изменения основных характеристик ЭВБ бассейна реки Волги как в пространстве, так и во времени. Дополнительно к традиционно рассматриваемым ЭВБ были определены также разности «осадки – сток», «осадки – испарение». Кроме того, для оценки изменчивости гидротермического режима территории бассейна реки Волги рассмотрены также изменения температуры воздуха на вышеуказанных 11 частных водосборах бассейна реки Волги, включая бассейн в целом.

Для всех рассматриваемых временных рядов были определены выборочные оценки основных статистических параметров (среднее значение, стандарт, коэффициент вариации, внутрирядные и межрядные связи), а также распределения вероятностей (вероятность превышения) характерных величин ЭВБ отдельных частных водосборов в бассейне реки Волги и в целом бассейна (табл.1).

Таблица 1

Выборочные оценки основных статистических параметров временных рядов годовых и сезонных величин ЭВБ зоны формирования стока в бассейне реки Волги за 1914/1915 – 2000/2001 годы ($N = 87$ лет), мм

Статистический параметр	Весеннее половодье (IV – VI)				Межень (VII – III)				Год (IV – III)			
	PВ	RB	EB	±VB	PM	RM	EM	±VM	PG	RG	EG	±VG
Среднее значение	329	87	141	-101	341	56	388	0	670	143	529	0
Минимальное значение	218	51	-22	-233	217	29	218	-351	481	85	312	-351
Максимальное значение	464	134	226	13	481	107	517	150	924	216	665	150
Амплитуда	246	83	248	246	264	78	299	501	443	131	353	501
Стандарт	47	18	43	50	58	16	61	87	84	28	71	87
Коэффициент вариации C_v	0,14	0,21	0,31	-0,49	0,17	0,28	0,16	-	0,13	0,20	0,13	-
Коэффициент асимметрии C_s	0,29	0,42	0,61	-0,98	0,34	0,57	0,31	-	0,26	0,40	0,26	-
$r[1]$	-0,08	0,18	0,18	0,17	0,08	0,44	0,36	0,48	0,11	0,51	0,53	0,48

Анализ временных рядов ЭВБ позволил разделить всю территорию бассейна реки Волги на четыре района по условиям стационарности основных статистических параметров элементов водного баланса, а также их внутрирядной и межрядной связи. Следовательно, по изменчивости структуры и динамике элементов водного баланса территория бассейна реки Волги разделена на четыре водохозяйственных района (ВХР): Верхняя Волга (частные водосборы Ивановского, Углического, Рыбинского и Нижегородского водохранилищ), Средняя Волга (частные водосборы Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ), река Кама (частные водосборы Камского, Воткинского и Нижнекамского водохранилищ) и Нижняя Волга (частные водосборы Саратовского и Волгоградского водохранилищ). По климатическим условиям обширную территорию бассейна реки Волги климатологи разделяют на три зоны: Верхнюю Волгу, Среднее Поволжье и Нижнее Поволжье [3]. Для временных рядов выделенных ВХР были также определены выборочные оценки основных статистических параметров (табл. 2).

В период половодья среднемноголетние значения осадков колеблются от 261 мм (354 км³) – для водосбора Волгоградского водохранилища и до 344 мм (468 км³) – для водосбора Камского водохранилища. Характерной особенностью распределения осадков по территории является то, что наибольшие значения приходится на районы Верхней и Средней Волги и район Камы, а наименьшие значения – на район Нижней Волги – 261...270 мм (355...367 км³). Аналогичная тенденция свойственна и для меженного периода. Наиболее высокие значения осадков относятся к районам Верхней и Средней Волги и району Камы – 336...383 мм (457...521 км³), а наименьшие значения осадков относятся к району Нижней Волги – 222...249 мм (302...339 км³). Соответственно вышесказанному можно отметить, что по степени валовой увлажненности территорию бассейна реки Волги можно разделить на три зоны: избыточного увлажнения – районы Верхней Волги и Камы, достаточного увлажнения – район Средней Волги и недостаточного увлажнения – район Нижней Волги.

Прежде чем характеризовать изменение речного стока за период полово-

Таблица 2

Выборочные оценки основных статистических параметров временных рядов годовых и сезонных величин ЭВБ водохозяйственных районов бассейна реки Волги за 1914/1915 – 2000/2001 годы (N = 87 лет), мм

Водохозяйственные районы реки Камы

Статистические параметры	Весеннее половодье (IV – VI)				Межень (VII – III)				Год (IV – III)									
	PВ	RB	EB	±VB	P-E	P-R	PM	RM	EM	±VM	P-E	P-R	PG	RG	EG	±VG	P-E	P-R
Среднее значение	334	153	87	-93	246	180	453	100	354	-	100	353	693	253	440	-	253	440
Коэффициент вариации C _v	0,17	0,23	0,17	-0,52	0,27	0,27	0,21	0,31	0,14	-	0,86	0,23	0,15	0,22	0,12	-	0,42	0,18
r[1]	0,02	0,21	0,26	-0,03	0,06	-0,03	0,12	0,42	0,03	0,31	0,38	0,0	0,22	0,50	0,11	0,31	0,48	-0,05

Водохозяйственные районы Нижней Волги

Статистический параметр	Весеннее половодье (IV – VI)						Межень (VII – III)						Год (IV – III)					
	PВ	RB	EB	±VB	P-E	P-R	PM	RM	EM	±VM	P-E	P-R	PG	RG	EG	±VG	P-E	P-R
Среднее значение	266	48	113	-104	153	217	344	20	323	20	323	502	68	434	-	68	434	434
Коэффициент вариации C_v	0,24	0,50	0,60	-0,76	0,64	0,28	0,30	0,57	0,24	5,59	0,31	0,18	0,46	0,25	-	-2,06	0,20	0,20
$r[1]$	-0,01	0,36	0,34	0,10	0,17	0,03	0,22	0,58	0,11	0,27	0,19	0,07	0,44	0,14	0,24	0,29	0,0	0,0

дья и межени, отметим, что для бассейна реки Волги характерно преимущественно снеговое питание с высоким половодьем и низкой зимней меженью. В летне-осенний период нередко дождевые паводки, что обуславливает большую водность рек по сравнению с зимним сезоном.

Анализ изменения среднемноголетнего стока за период половодья по частным водосборам бассейна реки Волги показал следующее: для района Верхней Волги среднемноголетнее значение стока колеблется от 110 (150 км³) до 149 мм (203 км³); для района Средней Волги – от 46 (62 км³) до 79 мм (107 км³); для района Камы – от 121 (164 км³) до 191 мм (260 км³); для района Нижней Волги – от 33 (45 км³) до 62 мм (84 км³). Аналогичная картина характерна и для периода межени. Так, например, для района Камы среднемноголетний сток за период межени составляет от 75 (102 км³) до 130 мм (177 км³), а для района Нижней Волги – от 10 (14 км³) до 29 мм (39 км³).

В районах Верхней и Средней Волги, Камы сток за период половодья хорошо коррелирует с атмосферными осадками, выпадающими на водосборе за зимний и весенний периоды. Коэффициент корреляции изменяется от 0,45 до 0,60 в районе Нижней Волги ($r = 0,18...0,27$). Анализ связи между стоком и эффективными осадками (разность «осадки – испарение») показал, что существует более тесная связь в годовом и сезонном разрезе. Для весеннего половодья эта связь изменяется от 0,45 (для частного водосбора Воткинского водохранилища) и до 0,99 (для частного водосбора Куйбышевского водохранилища), а для межени – от 0,61 до 0,99 (для тех же частных водосборов). Это свидетельствует о том, что для оценки величин речного стока можно выбрать прежде всего «эффективные осадки», а также собственно атмосферные осадки и суммарное испарение.

В отношении изменения испарения по территории обнаруживается несколько иная ситуация. Так, например, в период половодья, если для зоны избыточного увлажнения испарение изменяется от 65 до 123 мм (88...167 км³), то для зоны достаточного увлажнения – от 153 до 191 мм (208...260 км³) и для зоны недостаточного увлажнения – от 109 до 132 мм (148...180 км³). Для периода межени

характерна высокая степень испарения по всем частным водосборам – от 325 до 441 мм (442...600 км³).

Изменению бассейновых влагозапасов свойственна следующая закономерность. В период половодья они имеют накопительное свойство, а в период межени происходит сработка, и в результате годовой баланс стремится к нулю. Для района Верхней Волги в период половодья накопление бассейновых влагозапасов изменяется от 88 до 105 мм (120...143 км³), для района Средней Волги – от 96 до 97 мм (130...132 км³), для района Камы – от 101 до 106 мм (137...144 км³), для района Нижней Волги – от 102 до 106 мм (139...144 км³). Таким образом, бассейновые влагозапасы, накопленные в период половодья, участвуют в формировании дополнительного испарения и поверхностного стока в период межени, тем самым повышая степень водообеспеченности территории частного водосбора речного бассейна в период межени.

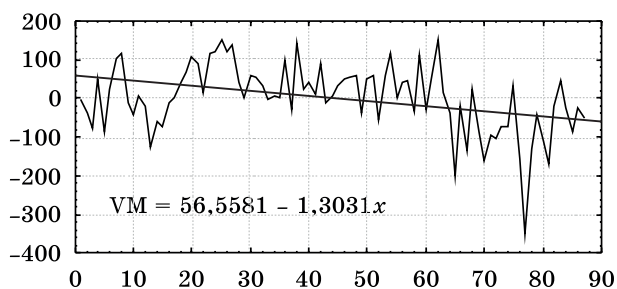
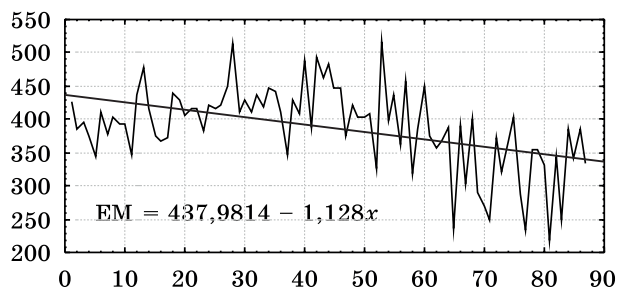
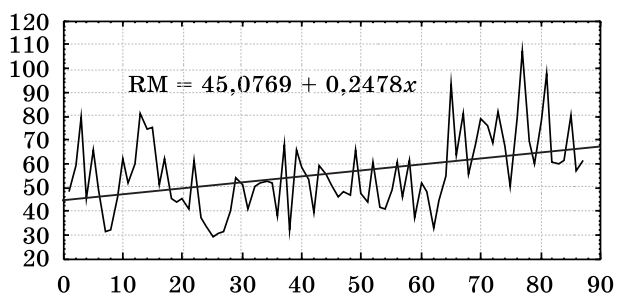
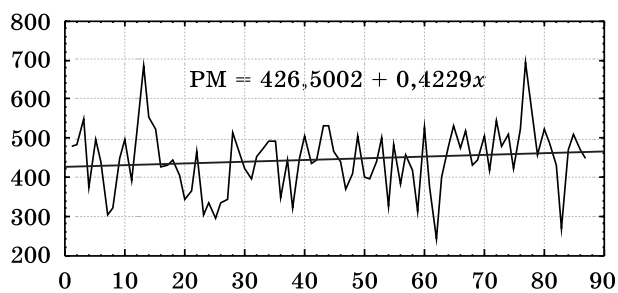
Анализ тенденции изменения ЭВБ показывает, что для района Верхней Волги в период межени характерно увеличение речного стока за исследуемый период на 14 мм за 87 лет. В то же время таким элементом водного баланса, как атмосферные осадки и испарение, свойственно умеренное снижение. Так, например, за рассматриваемый период осадки уменьшаются на 18 мм за 87 лет, а испарение – на 15 мм за 87 лет. Но бассейновые влагозапасы, которые участвуют в компенсации

как речного стока, так и испарения, увеличиваются на 17 мм за тот же период. К сожалению, исследование изменения ЭВБ за период половодья показало незначительное изменение этих элементов, особенно малозаметное изменение свойственно речному стоку (3 мм/87 лет) и испарению (5 мм/87 лет).

Наиболее заметные изменения ЭВБ происходят в районах Средней и Нижней Волги и в районе Камы за период межени (лето – осень и зима). Как видно из рисунка, за период межени в целом по бассейну реки Волги атмосферные осадки имеют тенденцию к увеличению на 42 мм/87 лет. Аналогичная тенденция наблюдается в динамике речного стока, увеличение которого составляет 25 мм/87 лет. Суммарное испарение и изменение бассейновых влагозапасов за рассматриваемый период уменьшается соответственно на 113 мм/87 лет и 130 мм/87 лет.

Выявленное увеличение и снижение ЭВБ наиболее заметно за последнее 30-летие. При этом изменения ЭВБ за период весеннего половодья не столь существенны по сравнению с периодом межени. Одна из причин увеличения речного стока объясняется увеличением атмосферных осадков за рассматриваемый 87-летний период.

Уменьшение испарения, по-видимому, объясняется тем, что преимущество берут накопительные процессы на отдельных частных водосборах, которые влияют на снижение испарительной способности территории и усиление речного



Изменение элементов водного баланса в бассейне реки Волги за период межени с 1914/1915 по 2000/2001 годы

стока. В этом плане очень важно сопряженно анализировать не только ЭВБ, но и изменение термического режима рассматриваемых районов бассейна реки Волги.

В результате статистической обработки рядов увлажнения частных водосборов, водохозяйственных районов и бассейна в целом получена достаточно детальная картина распределения коэффициентов вариации увлажнения в бассейне реки Волги. Наибольшая изменчивость сумм атмосферных осадков за период половодья и межени наблюдается в южной части территории бассейна (частные водосборы, входящие в район Нижней Волги), которая изменяется от 0,22 до 0,30. Наименьшие значения коэффициента вариации – в районах Верхней и Средней Волги и Камы (от 0,15 до 0,19). Изменчивость суммарных осадков за период половодья и межени выше, чем изменчивость годовых осадков.

Коэффициент вариации речного стока за период половодья, начиная с частного водосбора Иваньковского водохранилища, постепенно уменьшается с 0,33 и на частном водосборе Куйбышевского водохранилища достигает 0,27, а затем, начиная с частного водосбора Саратовского водохранилища, повышается с 0,48 до 0,74 (для частного водосбора Волгоградского водохранилища). Для района Камы коэффициент вариации речного стока в период половодья достаточно высок и достигает 0,57 (для частного водосбора Воткинского водохранилища). В период межени изменчивость речного стока колеблется от 0,33 (частные водосборы Чебоксарского и Камского водохранилищ) и до 0,70 (частный водосбор Волгоградского водохранилища).

Наибольшего значения коэффициент вариации испарения за период половодья достигает в частных водосборах бассейна реки Камы и в районе Нижней Волги, а в районе Верхней Волги коэффициент вариации снижается и колеблется в пределах от 0,17 до 0,21.

Для межени периода свойственно понижение коэффициента вариации до 0,06...0,10 для района Верхней Волги, тогда как для района Камы и Нижней Волги коэффициент вариации повышается и достигает 0,32 (частный водосбор Волгоградского водохранилища).

Выводы

Происходящие в последнее время глобальные изменения климата проявились в Волжском бассейне. Так, начиная

с 1980-х годов наблюдается постепенное увеличение стока реки Волги, что наиболее заметно проявляется в период межени (лето – осень и зима).

Характерной чертой является большая изменчивость режима увлажнения, во многом обусловленная особенностями атмосферной циркуляции отдельных лет.

Для бассейна реки Волги существенное значение имеет изменение бассейновых влагозапасов, причем наблюдается следующая закономерность в динамике изменения бассейновых влагозапасов. Во всех 11 частных водосборах в период весеннего половодья происходит преимущественно процесс накопления (в диапазоне от 80 до 105 мм), а в период межени – процесс сработки накопившихся во время половодья влагозапасов. При этом максимальный уровень сработки бассейновых влагозапасов приходится на конец марта – начало апреля.

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

2. **Исмайылов Г. Х., Мураценкова Н. В.** Пространственно-временные закономерности изменчивости и взаимосвязи ЭВБ половодья и межени в бассейне реки Волги в XX веке: Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока: труды Всероссийской научной конференции, посвященной памяти выдающегося ученого-гидролога профессора А. В. Рождественского. – М., 2012. – С. 354–363.

3. Гидрометеорологические условия Волжского региона и современные изменения климата / О. А. Анисимов [и др.] // Метеорология и гидрология. – № 5. – 2011. – С. 33–42.

Материал поступил в редакцию 10.07.12.

Исмайылов Габил Худуш оглы,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Гидрология, метеорология
и регулирование стока»
Тел. 8 (495) 976-23-68

E-mail: gabil-1937@mail.ru

Мураценкова Наталья Владимировна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Гидрология, метеорология
и регулирование стока»
Тел. 8 (495) 976-17-45

E-mail: splain75@mail.ru